

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-066598

(43)Date of publication of application : 16.03.2001

(51)Int.Cl.

G02F 1/13363

G02F 1/1335

(21)Application number : 11-239473

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 26.08.1999

(72)Inventor : HANAOKA KAZUTAKA

TANUMA SEIJI

INOUE YUICHI

MAYAMA TAKEMUNE

ARITAKE TAKAKAZU

SUGIURA NORIO

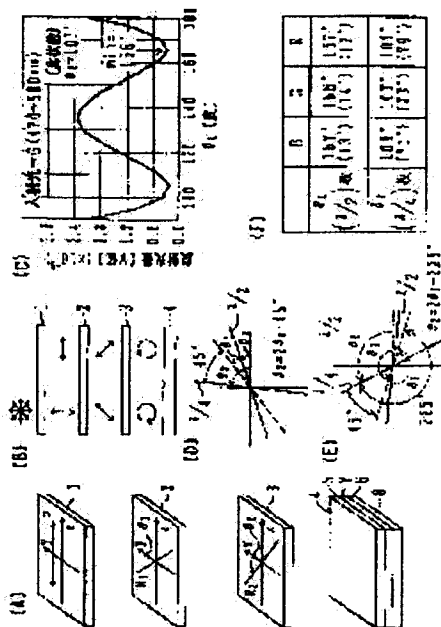
OMURO KATSUFUMI

(54) REFLECTIVE LIQUID CRYSTAL DISPLAY DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a reflective liquid crystal display device with excellent characteristics.

SOLUTION: The display device is provided with a light separator and red, green and blue liquid crystal display units and each of the liquid crystal display unit is provided with a polarizer 1 transforming the incident light into linearly polarized light, a first optical retardation plate 2 with an optic axis arranged so as to form a first angle θ_1 between itself and the direction of the optic axis of the polarizer 1 and forming about $\lambda/2$ retardation, a second optical retardation plate 3 with an optic axis arranged so as to form a second angle θ_2 in the range of $\theta_2 = 2\theta_1 + 44^\circ \pm 1^\circ$ between itself and the direction of the optic axis of the polarizer 1 and forming about $\lambda/4$ retardation and a reflective liquid crystal cell having a liquid crystal layer which selectively forms homogeneous and homeotropic alignments corresponding to existence of an electric field and having the direction of the alignment arranged so as to form a third angle θ_3 between itself and the direction of the optic axis of the polarizer.



* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]A high-reflective-liquid-crystal display which has a high-reflective-liquid-crystal cell, comprising: Light polarizer which has a transmission axis or an absorption axis in a reference direction within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side.

The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged by 1st angle θ_1 to said reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/2$.

It is arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and to said reference direction The 2nd angle θ_2 . The 2nd phase difference plate with which it has a lagging axis or a phase leading axis arranged by θ_2 , and said 2nd angle θ_2 is within the limits of $\theta_2 = 2\theta_1 + 45 \text{ degree} \pm 3 \text{ degree}$, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/4$ - the abbreviation $3\lambda/4$.

An orientation direction which has been arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, and it has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, and a liquid crystal layer could form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, and has been arranged by 3rd angle θ_3 to said reference direction.

[Claim 2]The high-reflective-liquid-crystal display according to claim 1 in which said 1st angle θ_1 is 14 degrees ± 3 degrees.

[Claim 3]A high-reflective-liquid-crystal display which has a high-reflective-liquid-crystal cell, comprising: Light polarizer which it has a light separating machine, and red and a green and blue liquid crystal display unit, and each liquid crystal display unit has a transmission axis or an absorption axis in a reference direction within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side.

The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged by 1st angle θ_1 to said reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/2$.

It is arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and to said reference direction The 2nd angle θ_2 . The 2nd phase difference plate with which it has a lagging axis or a phase leading axis arranged by θ_2 , and said 2nd angle θ_2 is within the limits of $\theta_2 = 2\theta_1 + 44 \text{ degree} \pm 1 \text{ degree}$, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/4$ - the abbreviation $3\lambda/4$.

An orientation direction which has been arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, and it has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, and a liquid crystal layer could form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, and has been arranged by 3rd angle θ_3 to said reference direction.

[Claim 4]The high-reflective-liquid-crystal display according to claim 3 whose liquid crystal display unit of said red is within the limits in which said 1st angle θ_1 is 13.5 degrees ± 1 degree including 8 degrees of vertical-angles ± 3 -degree wedged prism.

[Claim 5]The high-reflective-liquid-crystal display according to claim 3 or 4 in which said green liquid crystal display unit is within the limits in which said 1st angle θ_1 is 13 degrees ± 1 degree including 8 degrees of

vertical-angles $\pm 3^\circ$ -degree wedged prism.

[Claim 6]The high-reflective-liquid-crystal display according to any one of claims 3 to 5 in which said blue liquid crystal display unit is within the limits in which said 1st angle θ_1 is $12.5^\circ \pm 1^\circ$ including 8° degrees of vertical-angles $\pm 3^\circ$ -degree wedged prism.

[Claim 7]The high-reflective-liquid-crystal display according to any one of claims 3 to 6 in which phase contrast of said 2nd phase difference plate is abbreviation $\lambda/4$, whose phase contrast formed when said liquid crystal layer carries out homogeneous orientation is abbreviation $\lambda/4$, and said 3rd angle θ_3 corresponds with said 2nd angle θ_2 mostly.

[Claim 8]The high-reflective-liquid-crystal display according to any one of claims 3 to 6 in which phase contrast of said 2nd phase difference plate is abbreviation $\lambda/4$, phase contrast formed when said liquid crystal layer carries out homogeneous orientation is about $3\lambda/4$, and said 2nd angle θ_2 and said 3rd angle θ_3 cross at right angles mostly.

[Claim 9]The high-reflective-liquid-crystal display according to claim 7 or 8 on which phase contrast of said 2nd phase difference plate has shifted from $\lambda/4$, and said 2nd phase difference plate and said liquid crystal layer can function as $\lambda/4$ board cooperatively.

[Claim 10]The high-reflective-liquid-crystal display according to claim 3 in which said 2nd angle θ_2 is carrying out the angle gap from $2\theta_1 + 44^\circ$ degree positive or negative, and said 3rd angle θ_3 is chosen in the direction which can negate retardation change by said angle gap.

[Claim 11]The high-reflective-liquid-crystal display according to claim 10 in which said angle gap is positive and said 3rd angle θ_3 is chosen as 20° within the limits it is [within the limits] $\pm 20^\circ$ degrees.

[Claim 12]The high-reflective-liquid-crystal display according to claim 10 in which said angle gap is negative and said 3rd angle θ_3 is chosen as 110° within the limits it is [within the limits] $\pm 20^\circ$ degrees.

[Claim 13]Light polarizer which has a transmission axis or an absorption axis in a reference direction within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side, Have a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged by 1st angle θ_1 to said reference direction, and it is arranged at the back side of the 1st phase difference plate that forms phase contrast of abbreviation $\lambda/2$, and said 1st phase difference plate, and to said reference direction The 2nd angle θ_2 . The 2nd phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis arranged by 2° and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/4$, It is arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, and has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, A liquid crystal layer can form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, It has an orientation direction arranged by 3rd angle θ_3 to said reference direction, A high-reflective-liquid-crystal display which has a high-reflective-liquid-crystal cell to which phase contrast formed when said liquid crystal layer carries out homogeneous orientation is abbreviation $\lambda/2$, and said 3rd angle θ_3 is within the limits of $\theta_3 = 2\theta_1 + 44^\circ \pm 1^\circ$, and intersects perpendicularly with said 2nd angle θ_2 mostly.

[Claim 14]Light polarizer which has a transmission axis or an absorption axis in a reference direction within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side, The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged by 1st angle θ_1 to said reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/2$, It is arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, A liquid crystal layer can form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, A high-reflective-liquid-crystal display which forms phase contrast of abbreviation $\lambda/4$ and in which it has an orientation direction arranged by 2nd angle θ_2 to said reference direction, and 2nd angle θ_2 has a liquid crystal cell which fills $\theta_2 = 2\theta_1 + 44^\circ \pm 1^\circ$ degree when homogeneous orientation is carried out.

[Claim 15]Light polarizer which has a transmission axis or an absorption axis in a reference direction within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side, Have a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of

said light polarizer, and has been arranged by 1st angle θ_1 to said reference direction, and it is arranged at the back side of the 1st phase difference plate that forms phase contrast of abbreviation $\lambda / 2$, and said 1st phase difference plate, and to said reference direction The 2nd angle θ_2 . The 2nd phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis arranged by θ_2 and forms phase contrast of abbreviation $\lambda / 4$. It is arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, and has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, A liquid crystal layer can form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, A high-reflective-liquid-crystal display which has an orientation direction arranged by 3rd angle θ_3 to said reference direction, and has the high-reflective-liquid-crystal cell chosen as an angle which 3rd angle θ_3 can compensate for retardation change by angle gap of 1st angle θ_1 and 2nd angle θ_2 .

[Claim 16]The high-reflective-liquid-crystal display according to claim 15 in which said 2nd angle θ_2 is set as a bigger angle than $2\theta_1 + 44$ degree, and said 3rd angle θ_3 is set as 20-degree within the limits it is [within the limits] **20 degrees.

[Claim 17]The high-reflective-liquid-crystal display according to claim 15 in which said 2nd angle θ_2 is set as an angle smaller than $2\theta_1 + 44$ degree, and said 3rd angle θ_3 is set as 110-degree within the limits it is [within the limits] **20 degrees.

[Claim 18]A liquid crystal panel which has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime and in which a liquid crystal layer can form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, A high-reflective-liquid-crystal display set up in the direction which can offset retardation produced when light enters into a liquid crystal layer which has an optical system in which light is entered from an oblique direction in said liquid crystal panel, and by which perpendicular orientation of the orientation direction of homogeneous orientation of said liquid crystal panel was carried out to it aslant.

[Claim 19]A high-reflective-liquid-crystal display comprising:

A liquid crystal panel which has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime and in which a liquid crystal layer can form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field.

An optical system which enters light in said liquid crystal panel from an oblique direction.

A phase difference plate which has the retardation which can offset retardation produced when it has been arranged between said liquid crystal panel and said optical system, and perpendicular orientation of said liquid crystal layer is carried out, and incident light enters into a liquid crystal layer aslant.

[Claim 20]A high-reflective-liquid-crystal display which has a high-reflective-liquid-crystal cell, comprising: Light polarizer which has a transmission axis or an absorption axis in the 1st angular orientation within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side.

The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged in the 2nd angular orientation within a field, and forms the 1st phase contrast within the limits of 0.1 to 0.3 micrometer.

The 2nd phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and has been arranged in the 3rd angular orientation within a field, and forms the 2nd phase contrast within the limits of 0.1 to 0.3 micrometer.

An orientation direction where has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, it has been arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, has a twist angle within the limits of 0 to 80 degrees when a liquid crystal layer is a non-electric field, and one side of a substrate of said couple has been arranged in the 4th angular orientation within a field.

[Claim 21]A twist angle of said liquid crystal layer is within the limits of 60 to 75 degrees, and said 1st, 2nd, and 3rd angular orientation said 4th angular orientation and an angle to make, The high-reflective-liquid-crystal display according to claim 20 which is within the limits of 50 degrees - 60 degrees, 70 degrees - 80 degrees, and -40 degree--50 degree, respectively, and is within the limits in which said 1st and 2nd phase contrast is 0.25 micrometer - 0.29 micrometer, and 0.13 micrometer - 0.15 micrometer, respectively.

[Claim 22]The high-reflective-liquid-crystal display according to claim 20 or 21 whose half breadth of the scattering characteristic of said light scattering layer it has a light scattering layer arranged from a substrate of said couple at the front-face side, and is less than 10 degrees.

[Claim 23]The high-reflective-liquid-crystal display according to claim 20 or 21 which has a light scattering layer arranged between the front-face side board of a substrate of said couple, and said reflector.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] Especially this invention relates to a high-reflective-liquid-crystal display about a liquid crystal display.

[0002]

[Description of the Prior Art] A liquid crystal display contains a transmission type liquid crystal display and a high-reflective-liquid-crystal display. A transmission type liquid crystal display is composition which has a light source in one liquid crystal cell side and whose observer is in the another side side.

Usually, a back light is used as a light source.

In order to introduce uniformly the light from light sources, such as a cold cathode tube, into a liquid crystal cell, a scattered plate etc. are usually used.

[0003] A high-reflective-liquid-crystal display introduces outdoor daylight into a liquid crystal cell, it reflects, a liquid crystal cell is made to pass it again, and an observer recognizes the transmitted light.

As outdoor daylight, the light of the surrounding nature and the illumination light for liquid crystal displays are used.

The direct viewing type liquid crystal display which uses the light of a nature as outdoor daylight has the unnecessary electric power for light sources, and its utility value is high as displays, such as a notebook sized personal computer. In this case, even if the illumination of outdoor daylight falls, the luminosity of a display is thought as important so that a display can be recognized visually. Contrast is thought as important in order to improve the quality of a display, since the projection type liquid crystal display can secure a luminosity with a light source.

[0004] Thus, in a high-reflective-liquid-crystal display, a luminosity and contrast are important. A luminosity is regulated by the numerical aperture and maximum reflectance which are the ratios of the passage area of the penetration/catoptric light to the occupation area of a pixel. Contrast receives big influence with the reflectance at the time of a black display.

[0005] The guest host method using a dichroic pigment is known for high-contrast-izing. However, generally as for a dichroic pigment, there is a problem in the reliability of a dichroic ratio, an impurity, etc., aging, etc.

[0006] The method of dividing polarization using a beam splitter is known for high-contrast-izing. A beam splitter is a structurally big optical system.

It is expensive.

Gap of few incidence angles to a beam splitter may disturb polarization.

[0007] An angle is attached to the incidence direction and emission direction to a liquid crystal cell, respectively, and the method which arranges a polarizing plate to each optical path at crossing is known. In this method, the incidence angle to a panel or a cross dichroic mirror becomes large.

[0008] The high-reflective-liquid-crystal display of a simple structure using one polarizing plate is known. In order to realize a black display, $\lambda/4$ phase difference plate is inserted between a polarizing plate and a light reflector.

[0009] Drawing 5 (A) shows roughly the composition of the high-reflective-liquid-crystal display of this method. The polarizing plate 1 has the polarization axis (transmission axis) P which inclined 45 degrees to a x axis and the y-axis. The phase difference plate 3 which forms $\lambda/4$ of phase contrast is arranged at the back side of the polarizing plate 1. Orientation of the lagging axis R of the phase difference plate 3 is carried out to x shaft orientations.

[0010] The liquid crystal cell 4 which pinches the liquid crystal layer 7 between one pair of substrates 5 and 6 is arranged at the back side of the phase difference plate 3. When the liquid crystal layer 7 carries out

homogeneous orientation, the liquid crystal layer 7 functions as $\lambda/4$ phase difference plate which has a lagging axis in x shaft orientations. When sufficiently high voltage is impressed among one pair of substrates 5 and 6, the liquid crystal layer 7 changes to perpendicular orientation, and comes to show isotropic character to incident light.

[0011]Drawing 5 (B) shows the ingredient of the linear polarization which penetrated the polarizing plate 1. Since the polarization axis P is arranged at the angle of 45 degrees to a x axis and the y-axis, respectively, it has amplitude and a phase with equal x ingredient and y ingredient of the polarization to emit.

[0012]Drawing 5 (C) shows x ingredient and y ingredient of the light which passed the phase difference plate 3. Since the lagging axis R of the phase difference plate 3 has turned to x shaft orientations, x ingredient receives $\lambda/4$ of retardation. As a result, the phase of x ingredient and y ingredient shifts $\lambda/4$, and the emitted light of the phase difference plate 3 constitutes circular light.

[0013]Drawing 5 (D) shows x ingredient and y ingredient of the light which passed the liquid crystal layer, when the liquid crystal layer 7 constitutes $\lambda/4$ of phase difference plates. Since the liquid crystal layer 7 functions as $\lambda/4$ phase difference plate which has a lagging axis in a x direction, as for x ingredient of incident light, $\lambda/4$ of retardation is received further. As a result, x ingredient and y ingredient serve as an opposite phase.

[0014]Drawing 5 (E) shows xS ingredient and y ingredient in the state where the light reflected in the reflector passed the liquid crystal layer 7 further. Since the liquid crystal layer 7 functions as $\lambda/4$ of phase difference plates, x ingredient receives $\lambda/4$ of retardation further. Therefore, the light which reflected and passed the liquid crystal layer 7 turns into circular light shown in drawing 5 (C), and circular light with a reverse hand of cut.

[0015]Drawing 5 (F) shows x ingredient and y ingredient of the light which passed the phase difference plate 3 further. By passing the phase difference plate 3 which has $\lambda/4$ of retardation, x ingredient receives $\lambda/4$ of retardations further. A solid line shows this state. x ingredient and y ingredient of incident light to the polarizing plate 1 have the same phase. For this reason, the polarization compounded becomes the same as that of the polarization at the time of incidence, and passes the polarizing plate 1. For this reason, a display will be "white."

[0016]If sufficiently high voltage is impressed between the substrates 5 and 6 of a liquid crystal cell, the liquid crystal layer 7 will change to perpendicular orientation. At this time, the light which enters into the liquid crystal layer 7 passes a liquid crystal layer as it is. Therefore, the incident light which reaches a reflector serves as [drawing 5 (C)]. The reflected light also passes the liquid crystal layer 7 as it is, and enters into the phase difference plate 3.

[0017]If the phase difference plate 3 receives $\lambda/4$ of retardation, the emitted light of the phase difference plate 3 will change like the dashed line of drawing 5 (F). That is, x ingredient and y ingredient of incident light to the polarizing plate 1 serve as an opposite phase, and the polarization compounded serves as a direction which intersects perpendicularly to the polarization which passed the polarizing plate 1 at the beginning. For this reason, catoptric light is intercepted with the polarizing plate 1, and serves as a black display.

[0018]Thus, as long as the phase difference plate 3 and the liquid crystal layer 7 function as an optical medium which has $\lambda/4$ board or the ***** characteristic to each wavelength, a white display and a black display can be obtained by changing the liquid crystal layer 7 to homogeneous orientation and perpendicular orientation.

[0019]However, the phase difference plate 3 and the liquid crystal layer 7 have wavelength dispersion in the refractive index anisotropy.

[0020]Drawing 5 (G) shows the wavelength dependency of the ovality of the phase difference plate which forms $\lambda/4$ of phase contrast on the wavelength of 550 nm. Although ovality b/a which is a ratio of the minor axis b over the major axis a of elliptical polarization is set to 1 on the wavelength of 550 nm, in other wavelength, one or less has been it. Therefore, except the wavelength of 550 nm, the light which passed $\lambda/4$ phase difference plate does not turn into perfect circular light, but turns into elliptical polarization.

[0021]Drawing 6 (A) shows the phase difference plate R1 of two sheets, and the method which combines R2 in order to ease the wavelength dispersion of a phase difference plate.

[0022]The 1st phase difference plate R1 forms the phase contrast of abbreviation $\lambda/2$. The 2nd phase difference plate R2 forms the phase contrast of abbreviation $\lambda/4$. Light which passed the 2nd phase difference plate R2 is made into circular light by choosing the phase difference plate R1 and the lagging axis of R2 as the angle of 162.5 degrees of a graphic display, and 100 degrees to the absorption axis of a polarizing plate.

[0023]Drawing 6 (B) is a graph which shows the ovality obtained by the optical system of drawing 6 (A). Although

the point that circular light is acquired on the wavelength of 550 nm is the same as that of drawing 5 (G), the effect of wavelength dispersion is eased in other wavelength.

[0024] Drawing 7 shows the example of composition of the high-reflective-liquid-crystal display using outdoor daylight. The point that the phase difference plate 3 is arranged at the back side of the polarizing plate 1, and the liquid crystal cell 4 is arranged at the back side is the same as that of the composition of drawing 5 (A). The liquid crystal cell 4 pinched the liquid crystal layer 7 between the transparent substrate 5 by the side of a front face, and other substrates 6 by the side of the back, and is provided with the metallic reflection board 8 on the surface of the substrate 6 by the side of the back. If a light filter is provided on the upper part of the metallic reflection board 8, or the inner surface of the transparent substrate 5, it will become a liquid crystal display whose colored presentation is possible.

[0025] In this composition, the front-face side of the polarizing plate 1 is further equipped with the light scattering layer 13. When using the outdoor daylight of a nature, in order to perform a display clear irrespective of the incidence direction of outdoor daylight, to scatter about the entering light is desired. For this reason, the light scattering layer 13 is arranged at the front-face side of the polarizing plate 1.

[0026]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In order to improve the performance of a high-reflective-liquid-crystal display, there are many points which should still be improved. For example, in order to reduce further the black level in a high-reflective-liquid-crystal display, to reduce further the catoptric light at the time of a black display is desired. In the high-reflective-liquid-crystal display of the direct viewing type using the outdoor daylight of the nature, a bright display is enabled and to prevent image blurring is desired.

[0027] The purpose of this invention is to provide the high-reflective-liquid-crystal display which was excellent in the characteristic.

[0028] Other purposes of this invention are to provide the high-reflective-liquid-crystal display which reduced the reflected light intensity of the black display further.

[0029] The purpose of further others of this invention is to provide the high-reflective-liquid-crystal display which can perform a bright display.

[0030]

[Means for Solving the Problem] According to one viewpoint of this invention, it has a light separating machine, and red and a green and blue liquid crystal display unit, Light polarizer which each liquid crystal display unit has a transmission axis or an absorption axis in a reference direction within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side, The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged by 1st angle θ_1 to said reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/2$, It has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and has been arranged by 2nd angle θ_2 to said reference direction, The 2nd phase difference plate with which said 2nd angle θ_2 is within the limits of $\theta_2 = 2\theta_1 + 44 \text{ degree} \pm 1 \text{ degree}$, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/4$ - the abbreviation $3\lambda/4$, It is arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, and has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, A high-reflective-liquid-crystal display which has a high-reflective-liquid-crystal cell which has an orientation direction where a liquid crystal layer could form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, and has been arranged by 3rd angle θ_3 to said reference direction is provided.

[0031] Light polarizer which has a transmission axis or an absorption axis in a reference direction within a field according to other viewpoints of this invention, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side, The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged by 1st angle θ_1 to said reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/2$, The 2nd phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and has been arranged by 2nd angle θ_2 to said reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/4$, It is arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, and has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, A liquid crystal layer can form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, A high-reflective-liquid-crystal display which has an orientation direction

arranged by 3rd angle θ_3 to said reference direction, and has the high-reflective-liquid-crystal cell chosen as an angle which 3rd angle θ_3 can compensate for retardation change by angle gap of 1st angle θ_1 and 2nd angle θ_2 is provided.

[0032] Light polarizer which according to the viewpoint of further others of this invention has a transmission axis or an absorption axis in the 1st angular orientation within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side, The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged in the 2nd angular orientation within a field, and forms the 1st phase contrast within the limits of 0.1 to 0.3 micrometer, The 2nd phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and has been arranged in the 3rd angular orientation within a field, and forms the 2nd phase contrast within the limits of 0.1 to 0.3 micrometer, It is arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, and has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, A high-reflective-liquid-crystal display which has a high-reflective-liquid-crystal cell which has a twist angle within the limits of 0 to 80 degrees when a liquid crystal layer is a non-electric field, and has an orientation direction where one side of a substrate of said couple has been arranged in the 4th angular orientation within a field is provided.

[0033]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the example of this invention is described with reference to drawings.

[0034] Drawing 1 (A) shows the composition of a high-reflective-liquid-crystal display roughly. The polarizing plate 1 has the polarization axis P along a x axis. Light enters from the upper part to the polarizing plate 1. The light which emits the polarizing plate 1 turns into light which carried out linear polarization to x shaft orientations.

[0035] The phase difference plate 2 which forms the phase contrast of abbreviation $\lambda / 2$ is arranged at the back side of the polarizing plate 1. The lagging axis R1 of the phase difference plate 2 makes the angle of θ_1 to a x axis.

[0036] The 2nd phase difference plate 3 is arranged further at the back side of the 1st phase difference plate 2. The 2nd phase difference plate 3 forms the phase contrast of abbreviation $\lambda / 4$, and the lagging axis R2 makes the angle of θ_2 to a x axis.

[0037] The liquid crystal cell 4 is arranged at the back side of the 2nd phase difference plate 3. The liquid crystal cell 4 has the composition by which the liquid crystal layer 7 was pinched between one pair of substrates 5 and 6. The reflector 8 shall be formed in the surface of the back side board 6. The liquid crystal layer 7 can take homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively. When homogeneous orientation is taken, the liquid crystal layer 7 forms $\lambda/4$ of phase contrast, and functions as $\lambda/4$ phase difference plate. The lagging axis of the liquid crystal layer at this time is taken as the same direction as the lagging axis R2 of the 2nd phase difference plate 3.

[0038] Drawing 1 (B) is a diagram which illustrates roughly operation of the high-reflective-liquid-crystal display shown in drawing 1 (A). an unpolarized light enters into the light polarizer 1. The light which penetrated the light polarizer 1 turns into linear polarization which polarized in the direction of a polarization axis. Direction of linear polarization is adjusted with the 1st phase difference plate 2. The light which penetrated the 2nd phase difference plate turns into circular light. When the liquid crystal cell 4 functions as $\lambda/4$ phase difference plate, the light which entered into the liquid crystal cell, and was reflected and emitted to it turns into circular light for reverse. The circular light for reverse is changed into linear polarization by penetrating the 2nd phase difference plate 3. Direction of linear polarization is adjusted with the 1st phase difference plate 2. At this time, direction of linear polarization turns into a direction which intersects perpendicularly to the linear polarization at the time of incidence. Therefore, catoptric light is intercepted by the light polarizer 1. For this reason, a display will be black.

[0039] If the liquid crystal cell 4 carries out perpendicular orientation, the liquid crystal layer 4 will not affect a polarization condition. At this time, it is reflected from the liquid crystal cell 4, and the light to emit turns into the time of incidence, and circular light of the same direction. The light which penetrated the 2nd phase difference plate 3 and the 1st phase difference plate 2 turns into the time of incidence, and linear polarization of the same direction. Therefore, this linear polarization penetrates the light polarizer 1. At this time, a display will be white.

[0040] If the above operation can be thoroughly performed in the full wave length field of visible light, a perfect black level will be obtained. However, if wavelength dispersion exists in a phase difference plate and a liquid

crystal, it will become difficult to obtain perfect black over a full wave length field.

[0041]with the simulation which used the product "LCD master" made from SHINTEKKU, Inc., this invention persons boil various angle θ_1 of the lagging axis R1 of the 1st phase difference plate, and angle θ_2 of the lagging axis R2 of the 2nd phase difference plate 3, and changed them, and the angle from which the optimal result is obtained was analyzed.

[0042]Drawing 1 (C) makes incident light 490-580-nm green light, and the late phase angle θ_1 dependency of reflected light quantity when θ_2 is set as 107 degrees is shown. The minimum of reflected light quantity is produced at angle $\theta_1=104$ degree and $\theta_1=166$ degree so that clearly from a figure.

[0043]The angle made those of the x axis for Masakata the reference direction, as shown in drawing 1 (A), it defined them, but is good also considering the negative direction of a x axis as a reference direction, and good also considering the direction of an angle as an opposite direction. An absorption axis may be used instead of the transmission axis of light polarizer. About a phase difference plate, a phase leading axis may be used instead of a lagging axis.

[0044]The relation of angle θ_1 which shows the optimal result as shown in drawing 1 (C), and θ_2 was investigated.

[0045]Drawing 1 (D) is a graph which shows roughly the relation of angle θ_1 of the 1st phase difference plate to the angle of the polarization axis of a polarizing plate, and angle θ_2 of the 2nd phase difference plate.

[0046]When a $\theta_2=2\theta_1+45$ degree relation was realized among these angles, it turned out that reflected light quantity takes the minimum.

[0047]That expression is changed depending on how to take how to take above-mentioned various angles, as for this result, and an axis.

[0048]Drawing 1 (E) shows another expression when how to take an angle is changed. That is, when filling a $\theta_2=2\theta_1-225$ degree relation, a result best [above-mentioned] is obtained. That is, the same relation is shown $\theta_2=2\theta_1+45$ degree and $\theta_2=2\theta_1-225$ degree.

[0049]Although the time of setting the lagging axis R2 of the 2nd phase difference plate as 107 degrees produced the best result to the green light G, to the blue glow B and the red light R, these values will be 109 degrees and 101 degrees, respectively. When the direction of a reference axis is changed and direction of an angle is changed, 109 degrees turns into 71 degrees, 107 degrees turns into 73 degrees, and 101 degrees turns into 79 degrees.

[0050]Drawing 1 (F) shows these results collectively. The best black display can be obtained by considering it as the numerical value which shows the angle of the optic axis of the 1st phase difference plate 2 that forms $\lambda/2$ of phase contrast, and the angle of the optic axis of the 2nd phase difference plate 3 that forms the phase contrast of $\lambda/4$ in a table to the blue glow B, the green light G, and the red light R.

[0051]The above result was obtained with the simulation in the conditions in which light carries out vertical incidence to a liquid crystal cell.

[0052]Therefore, in the case of 3 board type high-reflective-liquid-crystal display, the optimal black display can be obtained by arranging the $\lambda/2$ board 2 and the $\lambda/4$ board 3 with which it is satisfied of the conditions shown in drawing 1 (F), respectively in the front face of a liquid crystal cell to a blue cell, green cell, and red cell.

[0053]Drawing 2 is the block diagram and perspective view showing roughly the composition of such a 3 board type high-reflective-liquid-crystal display.

[0054]As shown in drawing 2 (A), the color separation machine CX separates the light of light source LS into red and 3 green and blue colored light. These 3 colored light is introduced into red liquid crystal cell R-LCD, green liquid crystal cell G-LCD, and blue liquid crystal cell B-LCD, respectively. It is multiplexed with the multiplexing machine CY and projected on the catoptric light from these each liquid crystal cell on screen SR via the projection optical system PJ.

[0055]Drawing 2 (B) is a perspective view showing the principal part of the example of 1 composition of a projected type 3 board type high-reflective-liquid-crystal display which used the cross dichroic prism. **3-degree wedge prism WP of about 8 degrees of vertical angles is formed in the entrance plane of the rectilinear direction of cross dichroic prism CDC. The red light R and the blue glow B which polarized to the green light G which polarized horizontally, and a perpendicular direction enter into wedge prism WP from the direction of about 25 degrees of lower parts from the level surface. These incident light is refracted with wedge prism WP, and is

divided into three colors by cross dichroic prism CDC.

[0056]The green light G which polarized horizontally goes straight on, enters and reflects a cross dichroic prism in green liquid crystal cell G-LCD, penetrates wedge prism WP again, and reaches projector lens PG. It is reflected by the red-reflex side of cross dichroic prism CDC, it enters and reflects in red liquid crystal cell R-LCD shown to the front, and reflects in respect of the red reflex again, and the red light R reaches the projection lens PJ via wedge prism WP, after being refracted with wedge prism WP.

[0057]It is reflected in the blue reflector of cross dichroic prism CDC, is reflected by blue liquid crystal cell B-LCD shown in the back side in a figure, it is reflected again in a blue reflector, and the blue glow B results in the projector lens PJ. It is projected on the catoptric light of these 3 color on screen SR with the projector lens PJ.

[0058]In the composition of drawing 2 (B), cross dichroic prism CDC, the 1st phase difference plate that forms $\lambda/2$ of phase contrast between each liquid crystal cell LCD, and the 2nd phase difference plate that forms the phase contrast of $\lambda/4$ are inserted.

[0059]The conditions of drawing 1 (F) were acquired under the conditions into which light enters at right angles to a liquid crystal cell. In the optical system of drawing 2 (B), light enters aslant from a lower part to a liquid crystal cell. In the case of oblique incidence, the optimal angle of a phase difference plate receives abnormal conditions. Incident light is usually entered by the incidence angle of 25 degrees to the entrance plane of a cross dichroic prism.

[0060]Drawing 2 (C) shows the relation of the optimal angle of $\lambda/2$ phase difference plate and $\lambda/4$ phase difference plate for which it asked by SHUMYURESHO in the case of such oblique incidence. $\lambda/4$ of retardation could be 155 nm to 138 nm and R to 115 nm and G to B. $\lambda/4$ of retardation could be 155 nm to 138 nm and R to 115 nm and G to B.

[0061]The conditions of drawing 1 (F) and drawing 2 (C) are optimal conditions. Focusing on these angles, if it is within the limits of $\times 3$ times, the effective effect will be accepted. Preferably, an angle is chosen as the range of $\times 1$ time of these values.

[0062]The optical system shown in drawing 2 (B) has entered light into the liquid crystal panel of three sheets using one wedge prism WP. The light reflected on the surface of each film of the polarizing plate in which this composition is inserted between a liquid crystal panel and a cross dichroic prism although there are few mark of an optic and they end, and a phase difference plate will lap with the emitted light from a liquid crystal panel. The light which has not entered into a liquid crystal panel serves as a noise component. As for the light reflected in each film surface, separating from an outputted ray is desirable.

[0063]The light which enters at 22.5 degrees to the cross dichroic prism surface will form the incidence angle of 30 degrees or more to the surface of wedge prism W. If an incidence angle becomes large, reflectance will increase and the light intensity which can be used will be restricted.

[0064]Drawing 3 shows the optical system which can improve such a point.

[0065]Drawing 3 (A) -3 (D) shows the example of composition which can improve display quality.

[0066]Drawing 3 (A) is the color separation of 3 board type high-reflective-liquid-crystal display, and an outline perspective view of a portion including an optical multiplexing optical system. The film group F which contains light polarizer and the phase difference plate of two or more sheets, respectively on the back of cross dichroic prism CDC and the side on either side, wedge prism WP, and liquid crystal cell LCD are arranged. A wedge prism has 8-degree a $\times 3$ -degree vertical angle like the case of drawing 2 (B). Incident light enters into the entrance plane of cross dichroic prism CDC from a lower part horizontally by about 25-degree a $\times 10$ -degree incidence angle.

[0067]On the back of cross dichroic prism CDC, film group F-G for green is arranged, and wedge prism WP-G for green is arranged on the back, and green liquid crystal display cell G-LCD is arranged on the back, it doubles, and parts group G-COMP for green is constituted. Parts group R-COMP for red and parts group B-COMP for blue which show the same composition to the left and right laterals of cross dichroic prism CDC are arranged.

[0068]Drawing 3 (B) shows the plan of the composition of drawing 3 (A) roughly. On three sides of cross dichroic prism CDC, film group F-G, F-B, and F-R are arranged first, wedge prism WP-G, WP-B, and WP-R are arranged on it, and liquid crystal panel G-LCD, B-LCD, and R-LCD are arranged at the back top. As for incident light, the green component G is supplied by s-polarized light, and the blue glow B and the red light R are supplied by p-polarized light. A p-polarized light ingredient is reflected by the reflector on the diagonal line of a cross dichroic prism.

[0069]Drawing 3 (C) is a sectional view showing roughly the laminated constitution on the side of a cross dichroic prism. On the side of cross dichroic prism CDC, the light polarizer 1, the $\lambda/2$ phase difference plate 2, and the $\lambda/4$ phase difference plate 3 are laminated, and wedge prism WP is arranged on it. Liquid

crystal panel LCD is arranged at the back side of wedge prism WP, and is making the angle in the film groups 1, 2, and 3. The light reflector 8 is formed in the back of liquid crystal panel LCD.

[0070]Incident light enters with the 25.5 degrees of incidence angle as opposed to the side of a cross dichroic prism. After penetrating a film group, liquid crystal panel LCD is supplied in response to refraction of wedge prism WP. The light reflected by the film groups 1, 2, and 3 forms the 25.5 degrees of incidence angle to the side of a cross dichroic prism, and advances rightward. On the other hand, the light reflected by the liquid crystal layer is emitted with the smaller degree of angle of reflection by existence of wedge prism WP. Therefore, the light reflected by the film group and the light reflected by passing a liquid crystal layer are easily separable. Since the incidence angle which enters into cross dichroic prism CDC out of the air is smaller than the case where it enters into wedge prism WP of drawing 2 (B), reflection by an entrance plane can be suppressed.

[0071]Drawing 3 (D) shows the composition of a liquid crystal cell roughly. A liquid crystal cell has a liquid crystal layer formed between one pair of substrates 5 and 6 with an N type liquid crystal (for example, Merck Co. make muF-7024). On the surface of the back substrate 6, the reflecting layer 8 which makes a picture element electrode is arranged, and the thin film transistor (TFT) 9 which controls the voltage of a picture element electrode is formed.

[0072]Drawing 3 (A) According to the composition shown in -3 (D), although part mark increase compared with the composition of drawing 2 (B), the high-definition picture which has a low black level, and few noises can be displayed. If the conditions of drawing 2 (C) are fulfilled by this composition, extremely outstanding display properties can be acquired with it. This example of composition is mentioned later.

[0073]In the high-reflective-liquid-crystal display, when $\lambda/2$ board and $\lambda/4$ board were used as a phase difference plate, it turned out that change of a retardation value has big influence on a black level, therefore contrast.

[0074]Drawing 4 (A) shows the relation of the contrast over film thickness rate of change. The horizontal axis in a figure shows film thickness rate of change by %, and a vertical axis shows KONRASUTO. A film laminates $\lambda/2$ board and $\lambda/4$ board, shows the case where both the thickness of these two kinds of phase difference plates decreases, by curvilinear CR1, and the thickness of $\lambda/2$ board decreases and it shows the characteristic when the thickness of $\lambda/4$ board increases by curvilinear CR2.

[0075]When both $\lambda/2$ board and $\lambda/4$ board show change of a same sign, change of contrast is not so large so that clearly from a figure, but when change of both phase difference plates arises with an inverse code, as shown in curvilinear CR2, the fall of big contrast is caused also by slight thickness fluctuations. Therefore, as for thickness change of the phase difference plate of an inverse code, preventing as much as possible is desirable.

[0076]Drawing 4 (B) shows one example of composition which prevents the thickness fluctuations of the phase difference plate of an inverse code. In this example of composition, the $\lambda/2$ board 2 arranged to the back side of the light polarizer 1 is formed with the two $\lambda/4$ boards 2a and 2b which were started from the same lot. The $\lambda/4$ board 3 is also formed with these $\lambda/4$ boards 2a and $\lambda/4$ board cut down from the same film as 2b. That is, one $\lambda/2$ board and one $\lambda/4$ board are constituted using three $\lambda/4$ boards cut down from the same lot (film). Since it is the phase difference plate cut down from the same film, the phase difference plate 2a, 2b, and 3 have the almost same thickness, and change of an inverse code can be prevented as much as possible.

[0077]In drawing 4 (A), although the relation of the contrast over film thickness rate of change was shown, film thickness rate of change can also be considered to be change of a retardation value. That is, to avoid as much as possible is desired [changing retardation to an inverse code to $\lambda/2$ and $\lambda/4$, and].

[0078]Drawing 4 (C) shows the example of composition which can prevent inverse code change of a retardation value. the $\lambda/2$ board 2 -- drawing 4 (B) -- it may form with two $\lambda/4$ boards similarly. The $\lambda/4$ board 3x is formed so that it may have retardation smaller than $\lambda/4$, for example. The liquid crystal layer 7 inserted into both the boards 5 and 6 of the liquid crystal cell 4 shall realize slight phase contrast by voltage adjustment. When retardation with the liquid crystal layer 7 slight together with the lagging axis of the $\lambda/4$ board 3x in the lagging axis of the liquid crystal layer 7 is shown, $\lambda/4$ exact board is formed by composition with the $\lambda/4$ board 3x.

[0079]Since the retardation which the liquid crystal layer 7 forms can be adjusted with voltage, it can choose as the agreement retardation change of retardation change of the $\lambda/2$ board 2, the $\lambda/4$ board 3x, and $\lambda/4$ board that the liquid crystal layer 7 forms cooperatively by choosing voltage. Retardation of the $\lambda/4$ board 3x is made larger than $\lambda/4$, and it may be made to make the lagging axis of the $\lambda/4$ board 3x, and the orientation of the liquid crystal layer 7 cross at right angles.

[0080]Drawing 4 (D) shows other composition. In this composition, the liquid crystal cell 4 containing the liquid crystal layer 7 inserted into the back of the light polarizer 1 and the $\lambda/2$ board 2 at the substrates 5 and 6 is arranged directly. The liquid crystal layer 7 can choose arbitrarily the retardation within the limits which sandwich $\lambda/4$ by voltage impressing. That is, the retardation of the liquid crystal layer 7 adjusts to a larger value than $\lambda/4$ or a small value by whether the $\lambda/2$ board 2 is larger than $\lambda/2$ of retardation, or small. Thus, the numerals of change of two kinds of phase difference plates can be made into identical codes.

[0081]As a material of a phase difference plate, organic materials, such as polycarbonate and poly vinyl alcohol, can be used.

[0082]Drawing 8 (A) shows the wavelength dispersion of the reflectance of polycarbonate PC and the poly vinyl alcohol PVA. In a figure, a horizontal axis shows the wavelength λ in the unit nm, and a vertical axis shows the ratio of reflectance R_{λ} in the wavelength λ to reflectance R_{550} in the wavelength of 550 nm.

Curvilinear PC shows the wavelength dispersion of polycarbonate and the curve PVA shows the wavelength dispersion of poly vinyl alcohol. Both characteristic has the tendency for R_{λ}/R_{550} to fall as wavelength becomes long, but the PVA is [the extent] remarkably smaller.

[0083]Drawing 8 (B) -8 (F) shows the reflectance of *****, when [whole] a phase difference plate is sandwiched and changed between light polarizer and a reflector and light is entered into it from a front face. The lagging axis of the phase difference plate is optimized so that reflectance may be made low.

[0084]Drawing 8 (B) shows the result of having carried out the simulation of the change of the reflectance to the wavelength λ when $\lambda/4$ board is formed by polycarbonate (PC) 1 sheet.

[0085]Drawing 8 (C) shows the result of having simulated change of the reflectance to the wavelength λ when $\lambda/4$ board is formed by one poly vinyl alcohol (PVA). By using PVA compared with drawing 8 (B) shows that wavelength dispersion can be reduced.

[0086]Using polycarbonate, drawing 8 (D) forms one $\lambda/2$ board and one $\lambda/2$ board, and shows the result of having simulated change of the reflectance to the wavelength λ when it has arranged to the optimal angle. By using the phase difference plate of two sheets, compared with drawing 8 (B), wavelength dispersion can be reduced remarkably, and reflectance can be reduced.

[0087]Using PVA, drawing 8 (E) creates one $\lambda/2$ board and one $\lambda/4$ board, and shows the result of having simulated wavelength dispersion when combined with the optimal angle. Compared with drawing 8 (D), reflectance decreases further and a possibility that a good black display will be obtained is shown.

[0088]Drawing 8 (F) is a graph which shows the result of having simulated wavelength dispersion when $\lambda/4$ board was created by polycarbonate, $\lambda/2$ board was formed by PVA and the phase difference plate of two sheets was combined with the optimal angle.

[0089]If these results are considered, when PVA is used rather than polycarbonate, wavelength dispersion can control more effectively, and a possibility that a better black level can be obtained is shown. However, when a manufacturing process etc. are taken into consideration, it is desirable for polycarbonate to have the feature which is easier to treat than PVA, and to use such materials properly according to conditions.

[0090]The method shown in drawing 1 (F) and drawing 2 (C) is specifically realizable with various composition. Hereafter, the example of composition which can obtain a good black level is explained.

[0091]Drawing 9 (A) and 9 (B) show roughly the case where the liquid crystal in which perpendicular orientation is shown is used, when the liquid crystal in which homogeneous orientation is shown is used as a liquid crystal layer material.

[0092]In both figures, the $\lambda/2$ board 2 is arranged at the back side of the polarizing plate 1. To this $\lambda/2$ board, it may create by laminating the two $\lambda/4$ boards 2a and 2b. The $\lambda/4$ board 3 is arranged at the back side of $\lambda/2$ board. The liquid crystal cell 4 is arranged at the back side of $\lambda/3$ board. The liquid crystal cell 4 has the composition by which the liquid crystal layer 7 was pinched between the two substrates 5 and 6. The reflector 8 is formed on the surface of the substrate 6 by the side of the back.

[0093]In drawing 9 (A), when a liquid crystal element impresses voltage among both the substrates 5 and 6 using the liquid crystal in which homogeneous orientation parallel to a substrate is shown along the orientation direction on a substrate as the liquid crystal layer 7, the case where a liquid crystal layer changes to perpendicular orientation is shown.

[0094]Drawing 9 (B) shows the case where it changes to homogeneous arrangement, when voltage is impressed among both the substrates 5 and 6 using the liquid crystal in which a liquid crystal element carries out perpendicular orientation to a substrate as the liquid crystal layer 7. The liquid crystal element near the interface of the substrates 5 and 6 shows the state where it is restrained by strong anchor power on the substrate, also at the time of voltage impressing.

[0095]Not only when carrying out orientation of homogeneous orientation and the perpendicular orientation in parallel or vertically to a substrate thoroughly but the case where few angles are made shall be included.

[0096]Drawing 9 (C) shows the state where the lagging axis R1 of the $\lambda/2$ board 2 and the lagging axis R2 of the $\lambda/4$ board 3 were arranged at the optimal angle.

[0097]Drawing 9 (D) shows roughly retardation change of the liquid crystal layer 7 used combining the phase difference plate of the direction shown in drawing 9 (C). The retardation of the liquid crystal layer 7 is generated in the lagging axis and uniform direction of the $\lambda/4$ board 3. The retardation of the liquid crystal layer 7 is set to about 0 at the time of perpendicular orientation. When the retardation of the liquid crystal layer 7 is 0, incident light receives retardation with the $\lambda/2$ board 2 and the $\lambda/4$ board 3. If the lagging axis of the $\lambda/2$ board 2 and the $\lambda/4$ board 3 fulfills the optimal conditions, the optimal black display will be obtained.

[0098]If the liquid crystal layer 7 comes to show $\lambda/4$ of retardation, the sum of the retardation of the $\lambda/4$ board 3 and the liquid crystal layer 7 will be $\lambda/2$, in accordance with the polarization direction of incident light, the polarization direction of emitted light will pass a polarizing plate, and catoptric light will emit it. Therefore, a liquid crystal panel serves as a white display at this time.

[0099]Drawing 9 (E) shows the case where the retardation axis of the liquid crystal layer 7 is arranged in direction crossing at a right angle, to the lagging axis of the $\lambda/4$ board 3. For example, when homogeneous orientation of the liquid crystal layer 7 is carried out, it shows the retardation of $3\lambda/4$, and when perpendicular orientation is carried out, it shows about 0 retardation. When retardation is 0, a liquid crystal panel serves as a black display like the above-mentioned. If a liquid crystal layer shows the retardation of $3\lambda/4$, the synthetic retardation of the $\lambda/4$ board 3 and the liquid crystal layer 7 will be $\lambda/2$ of the directions which intersect perpendicularly with an optimum direction. At this time, it becomes parallel [the polarization direction of catoptric light] to the polarization direction of incident light, and catoptric light penetrates a polarizing plate and realizes a white display.

[0100]Drawing 9 (F) shows the case where the direction of the lagging axis R2 of the $\lambda/4$ board 3 is chosen in the direction which intersects perpendicularly with the optimum direction shown in drawing 1 (F) and drawing 2 (C). The way things stand, a black display is unrealizable.

[0101]Drawing 9 (G) shows roughly the orientation direction of the liquid crystal layer 7 combined with the phase difference plate shown in drawing 9 (F). When homogeneous orientation of the liquid crystal layer 7 is carried out, it shows $\lambda/2$ of retardation in the lagging axis of $\lambda/4$ board, and the direction which goes direct. The sum of the retardation of the $\lambda/4$ board 3 and the liquid crystal layer 7 shows $\lambda/4$ of retardation values in the direction of retardation of a liquid crystal layer. Therefore, the optimal black display is obtained at this time. If the liquid crystal layer 7 carries out perpendicular orientation, the retardation of the liquid crystal layer 7 will be lost and will serve as a white display.

[0102]Drawing 9 (H) shows the composition which omitted $\lambda/4$ board. Only the $\lambda/2$ board 2 is used as a phase difference plate. The function of $\lambda/4$ board is given by the liquid crystal layer 7.

[0103]Drawing 9 (I) shows change of the retardation of the liquid crystal layer 7. When the liquid crystal layer 7 carries out homogeneous orientation, the liquid crystal layer 7 achieves the function of $\lambda/4$ phase difference plate arranged in the optimum direction. The optimal black display is obtained at this time. If the liquid crystal layer 7 carries out perpendicular orientation, the function of $\lambda/4$ board will be lost and it will become a white display.

[0104]Such functional constitution is realizable according to further various gestalten.

[0105]Drawing 10 (A) -10 (E) shows drawing 9 (C) and one gestalt which realizes the function of 9 (D).

[0106]In drawing 10 (A), the composition of a liquid crystal display is shown in a center section. The $\lambda/2$ board 2 is arranged at the back side of the light polarizer 1. This $\lambda/2$ board can be formed with the two $\lambda/4$ boards 2a and 2b as mentioned above. The $\lambda/4$ board 3 whose retardation is $\lambda/4$ exactly is arranged at the back side of the $\lambda/2$ board 2. The liquid crystal cell which pinched the liquid crystal layer 7 between one pair of substrates 5 and 6 at the back side of the $\lambda/4$ board 3 is arranged. The reflector 8 is formed on the surface of the back substrate 6.

[0107]The liquid crystal layer 7 can take selectively the homogeneous orientation shown in left-hand side, and the perpendicular orientation shown in right-hand side. When homogeneous orientation is taken, a retardation value will be $\lambda/4$ exactly, and the orientation of the liquid crystal layer 7 is the $\lambda/4$ board 3 and the direction.

[0108]The left-hand side of drawing 10 (A) shows the conversion process of light when the liquid crystal layer 7 carries out homogeneous orientation. The light which penetrated the light polarizer 1 turns into the linear

polarization P1, and turns into the linear polarization P2 which changed the direction by passing the $\lambda/4$ board 2. The linear polarization P2 turns into the circular light P3 by penetrating the $\lambda/4$ board 3. When the circular light P3 penetrates the liquid crystal layer 7 which functions as $\lambda/4$ board further, the linear polarization P2 and the linear polarization P4 which intersects perpendicularly are formed.

[0109]It is reflected in the reflector 8 and this linear polarization P4 turns into the circular light P3 and the circular light P5 of an opposite direction by penetrating the liquid crystal layer 7 again. The circular light P5 turns into the linear polarization P6 by penetrating the $\lambda/4$ board 3. The linear polarization P6 is direction parallel to the linear polarization P2. The linear polarization P6 turns into the linear polarization P7 by penetrating the $\lambda/2$ board 2. The linear polarization P7 is the linear polarization P1 and a uniform direction, and penetrates the light polarizer 1. Thus, a white display is attained.

[0110]The drawing 10 (A) right-hand side shows conversion of light when the liquid crystal layer 7 carries out perpendicular orientation. It is the same as that of the case where it is shown in the left-in-the-figure side until it penetrates the light polarizer 1 and penetrates the $\lambda/4$ board 3. Since the liquid crystal layer 7 is carrying out perpendicular orientation, the circular light P3 is not influenced by the liquid crystal layer 7, but when the liquid crystal layer 7 is penetrated, it turns into the same circular light P4a.

[0111]The circular light P4a reflected in the reflector 8 penetrates the liquid crystal layer 7 as it is, turns into the circular light P5a, and turns into the linear polarization P6a by penetrating the $\lambda/4$ board 3. The linear polarization P6a is direction which intersects perpendicularly with the linear polarization P2. The linear polarization P6a penetrates the $\lambda/2$ board 2, and changes to the linear polarization P7a. The linear polarization P1 and the linear polarization P7a aim to cross at right angles, and is intercepted by the light polarizer 1. Thus, a black display is attained.

[0112]Drawing 10 (B) carries out homogeneous orientation, when the liquid crystal layer 7 is a non-electric field, and it shows the relation of the $\lambda/2$ board 2 in the case of carrying out perpendicular orientation by an applied electric field, the $\lambda/4$ board 3, and the direction of retardation of the liquid crystal layer 7.

[0113]Drawing 10 (C) is a graph which shows roughly change of the reflectance to the voltage in the case of drawing 10 (B). At the time of impressing no voltage, it will be in the state on the left-hand side of drawing 10 (A), if reflectance is high, a white display is made, carries out voltage impressing and the liquid crystal layer 7 carries out perpendicular orientation, catoptric light will be intercepted, reflectance is set to 0, and a black display is realized.

[0114]Drawing 10 (D) carries out the intention of the perpendicular, when the liquid crystal layer 7 is a non-electric field, and it shows roughly change of the $\lambda/2$ board 2 in the case of changing with voltage impressing to homogeneous orientation, the $\lambda/4$ board 3, and the direction of retardation of the liquid crystal layer 7. Except being reversed with the case where the retardation of the liquid crystal layer 7 is drawing 10 (B), it is the same as that of drawing 10 (B).

[0115]Drawing 10 (E) shows roughly change of the reflectance R to the voltage in the case of drawing 10 (D). In the state of impressing no voltage, the liquid crystal layer 7 is perpendicular orientation, and as shown in the drawing 10 (A) right-hand side, catoptric light is intercepted by the light polarizer 1. For this reason, an impressing no voltage state is a black display. When voltage is impressed and it goes, the liquid crystal layer 7 changes to homogeneous orientation, and goes, the reflectance R increases gradually, and the greatest reflectance is shown when the liquid crystal layer 7 shows $\lambda/4$ of retardation.

[0116]Drawing 10 (A) In -10 (E), the case where the $\lambda/4$ board 3 and the liquid crystal layer 7 showed $\lambda/4$ of retardation exactly was explained. As mentioned above, if change of the retardation value of $\lambda/2$ of boards and change of the retardation value of the $\lambda/4$ board 3 serve as an inverse code, a black level will be raised and contrast will fall greatly. In order to prevent this, it is effective that the member which achieves the function of $\lambda/2$ board and $\lambda/4$ board shows the same polar retardation change.

[0117]Although drawing 11 (A) is the same composition as drawing 10 (A), When the retardation value of the $\lambda/4$ board 3 is more slightly [than $\lambda/4$] small and homogeneous orientation of the liquid crystal layer 7 is carried out slightly, When $\lambda/4$ of retardation can be formed with the $\lambda/4$ board 3 and homogeneous orientation is carried out enough, it is constituted so that $\lambda/2$ of retardation can be realized with the $\lambda/4$ board 3.

[0118]Drawing 11 (A) and left-hand side show how the polarization condition of incident light changes. The linear polarization P1 which passed the light polarizer 1 turns into the linear polarization P2 with the $\lambda/2$ board 2, and when retardation penetrates the $\lambda/4$ board 3 slightly smaller than $\lambda/4$, it turns into the elliptical polarization P3. This elliptical polarization P3 turns into the linear polarization P2 and the linear polarization P4 which intersects perpendicularly by penetrating the liquid crystal layer 7 with a slightly larger retardation value

than $\lambda/4$.

[0119]The linear polarization P4 reflected by the reflector 8 turns into the elliptical polarization P3 and the elliptical polarization P5 for reverse, when retardation penetrates the slightly larger liquid crystal layer 7 than $\lambda/4$. When retardation penetrates the $\lambda/4$ board 3 slightly smaller than $\lambda/4$, the elliptical polarization P5 turns into the linear polarization P2 and the parallel linear polarization P6, penetrates the $\lambda/2$ board 2, and turns into the linear polarization P7. The linear polarization P7 is the linear polarization P1 and a uniform direction, penetrates the light polarizer 1 and shows a white display.

[0120]The liquid crystal layer 7 serves as perpendicular orientation which left homogeneous orientation slightly, and the drawing 11 (A) right-hand side shows the case where $\lambda/4$ of phase contrast is formed in collaboration with the $\lambda/4$ board 3. The elliptical polarization P3 which penetrated the $\lambda/4$ board 3 changes to the circular light P4a by penetrating the liquid crystal layer 7 which carried out homogeneous orientation slightly.

[0121]By penetrating the liquid crystal layer 7, the circular light P4a reflected in the reflector 8 turns into the elliptical polarization P5a, and when retardation penetrates the $\lambda/4$ board 3 slightly smaller than $\lambda/4$, it changes to the linear polarization P2 and the linear polarization P6a which intersects perpendicularly. The linear polarization P6a turns into the linear polarization P7a by penetrating the $\lambda/2$ board 2. This linear polarization P7a aims to go direct with the linear polarization P1, is intercepted by the light polarizer 1, and realizes a black display.

[0122]A liquid crystal layer is homogeneous orientation at the time of a non-electric field, and drawing 11 (B) shows roughly the relation of the retardation of $\lambda/2$ board in the case of changing with voltage impressing to linear polarization, the $\lambda/4$ board 3, and the liquid crystal layer 7. The retardation of the $\lambda/4$ board 3 is smaller than $\lambda/4$, and when $\lambda/4$ of retardation is realized together with the liquid crystal layer 7 which carried out perpendicular orientation mostly and the liquid crystal layer 7 carries out homogeneous orientation enough, $\lambda/2$ of retardation is realized together with the $\lambda/4$ board 3.

[0123]Drawing 11 (C) shows the relation of the reflectance to the impressed electromotive force in arrangement of drawing 11 (B). In the state where voltage is not impressed, reflectance does not yet serve as the maximum. Voltage is impressed, and as for the reflectance R, the maximum is taken, when the liquid crystal layer 7 changes to perpendicular orientation slightly and realizes $\lambda/2$ of retardation together with the $\lambda/4$ board 3.

[0124]When it increases and goes impressed electromotive force, the retardation of the liquid crystal layer 7 decreases and it becomes $\lambda/4$ of retardation together with the retardation of the $\lambda/4$ board 3, the reflectance R shows the minimum value. Since retardation will become smaller than $\lambda/4$ if voltage is furthermore impressed and the liquid crystal layer 7 carries out perpendicular orientation thoroughly, reflectance is raised slightly.

[0125]The liquid crystal layer 7 is perpendicular orientation in the state of a non-electric field, and drawing 11 (D) shows the case where it changes with applied electric fields to homogeneous orientation. When this perpendicular orientation impresses voltage including pre CHIIRUTO, the direction from which a liquid crystal element breaks down is chosen so that it may be in agreement with the direction of retardation of the $\lambda/4$ board 3.

[0126]The liquid crystal layer 7 realizes $\lambda/4$ of retardation in collaboration with the $\lambda/4$ board 3, when it changes to homogeneous orientation slightly, and when homogeneous orientation is fully carried out, it realizes $\lambda/2$ of retardation in collaboration with the $\lambda/4$ board 3.

[0127]Drawing 11 (E) shows change of the reflectance R to the impressed electromotive force V in the case of drawing 11 (D). In the state of impressing no voltage, the liquid crystal layer 7 is perpendicular orientation, and since the retardation of the $\lambda/4$ board 3 is smaller than $\lambda/4$, reflectance shows the value raised rather than 0. If a liquid crystal element falls slightly by voltage impressing, the retardation of the $\lambda/4$ board 3 and the retardation of the liquid crystal layer 7 will be doubled, $\lambda/4$ of retardation will be realized, and the reflectance R will serve as the minimum value. If voltage is furthermore impressed, retardation increases gradually, and when it becomes $\lambda/2$ of retardation, the reflectance R will serve as the maximum.

[0128]In the above composition, the orientation direction of a liquid crystal layer and the direction of the lagging axis of $\lambda/4$ were coincided. By making these directions perpendicular, the same function is also realizable.

[0129]Drawing 12 (A) -12 (E) shows the example of composition at the time of using arrangement of the $\lambda/2$ board 2 shown in drawing 9 (C), and the $\lambda/4$ board 3, and arrangement of the liquid crystal layer 7 shown in drawing 9 (E).

[0130]In drawing 12 (A), the light polarizer 1, the $\lambda/2$ board 2, and the $\lambda/4$ board 3 are the same as

that of the above-mentioned composition. The retardation of the $\lambda/4$ board 3 is chosen so that it may become large slightly rather than $\lambda/4$. The liquid crystal layer 7 can take homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively, and when homogeneous orientation is carried out, it chooses retardation so that it may become larger than $3\lambda/4$. The $\lambda/4$ board 3 and the liquid crystal layer 7 enable it to realize $\lambda/4$ of retardation, and $\lambda/2$ of direction crossing at a right angle of retardation jointly by having such composition.

[0131]The liquid crystal layer 7 carries out homogeneous orientation of the drawing 12 (A) left-hand side, and change of the polarization condition of incident light in case the liquid crystal layer 7 and the $\lambda/4$ board 3 form $\lambda/2$ of retardation perpendicularly to the optimal lagging axis for a black display cooperatively is shown. The linear polarization P2 which passed the $\lambda/2$ board 2 turns into the elliptical polarization P3, when retardation penetrates the $\lambda/4$ slightly larger board 3 than $\lambda/4$. This elliptical polarization P3 changes to the linear polarization P4, when the retardation of direction crossing at a right angle penetrates the slightly larger liquid crystal layer 7 than $3\lambda/4$. By penetrating the liquid crystal layer 7, the linear polarization P4 reflected in the reflector 8 changes to the elliptical polarization P5, and turns into the linear polarization P6 by penetrating the $\lambda/4$ board 3 further. The linear polarization P6 penetrates the $\lambda/2$ board 2, and turns into the linear polarization P7. This linear polarization P7 is the linear polarization P1 and a uniform direction, penetrates the light polarizer 1 and realizes a white display.

[0132]The liquid crystal layer 7 almost carries out perpendicular orientation of the drawing 12 (A) right-hand side, and retardation realizes $\lambda/4$ of retardation in cooperation with the $\lambda/4$ slightly larger board 3 than $\lambda/4$. The linear polarization P2 which penetrated the $\lambda/2$ board 2 turns into the elliptical polarization P3, when retardation penetrates the $\lambda/4$ slightly larger board 3 than $\lambda/4$. This elliptical polarization P3 turns into the circular light P4a by penetrating the liquid crystal layer 7 which carried out homogeneous orientation slightly.

[0133]By penetrating the liquid crystal layer 7, the circular light P4a reflected in the reflector 8 serves as elliptical polarization Pa, when retardation penetrates the $\lambda/4$ slightly larger board 3 than $\lambda/4$, turns into the linear polarization P6a, and turns into the linear polarization P7a by penetrating the $\lambda/2$ board 2 further. The linear polarization P1 and the linear polarization P7a aim to cross at right angles, and is intercepted by the light polarizer 1. Thus, a black display is realized.

[0134]The liquid crystal layer 7 is homogeneous orientation at the time of a non-electric field, and drawing 12 (B) shows roughly the relation of the retardation of the $\lambda/2$ board 2 in the case of changing with voltage impressing to perpendicular orientation, the $\lambda/4$ board 3, and the liquid crystal layer 7.

[0135]Drawing 12 (C) shows the relation of the reflectance R to the impressed electromotive force V in arrangement of drawing 12 (B). If the impressed electromotive force V is increased, the liquid crystal layer 7 which carried out homogeneous orientation first will carry out orientation perpendicularly slightly, and retardation will decrease. When the sum of the retardation of the $\lambda/4$ board 3 and the retardation of the liquid crystal layer 7 will be $\lambda/2$ in the orientation direction of the liquid crystal layer 7, the reflectance R serves as the maximum.

[0136]If impressed electromotive force is furthermore increased, the liquid crystal layer 7 will increase the tendency of perpendicular orientation, and the reflectance R will decrease gradually. When the liquid crystal layer 7 will carry out perpendicular orientation mostly and synthetic retardation with the $\lambda/4$ board 3 will be $\lambda/4$ exactly in the direction of retardation of the $\lambda/4$ board 3, the reflectance R serves as the minimum.

[0137]The liquid crystal layer 7 carries out perpendicular orientation of drawing 12 (D), and it shows roughly the relation of the retardation of the $\lambda/2$ board 2 in the case of carrying out homogeneous orientation to the vertical method to the lagging axis of the $\lambda/4$ board 3 by voltage impressing, the $\lambda/4$ board 3, and the liquid crystal layer 7.

[0138]Drawing 12 (E) shows roughly the relation of the reflectance R to the impressed electromotive force V in the case of drawing 12 (D). When voltage will be impressed slightly and the synthetic retardation of the liquid crystal layer 7 and the $\lambda/4$ board 3 will be $\lambda/4$, the reflectance R serves as the minimum, and if impressed electromotive force is increased further, the reflectance R will increase. When the synthetic retardation of the $\lambda/4$ board 3 and the liquid crystal layer 7 will be $\lambda/2$ in the direction of retardation of the liquid crystal layer 7, the reflectance R serves as the maximum.

[0139]Drawing 13 (A) - 13 (E) shows the case where the orientation relationship of drawing 12 (A) - the $\lambda/4$ board 3 in 12 (E), and the liquid crystal layer 7 is reversed. When homogeneous orientation of the liquid crystal layer 7 is carried out, it shall show $\lambda/2$ of retardation.

[0140]In the left-hand side of drawing 13 (A), since the light which penetrated the $\lambda/4$ board 3 has shifted from the case where a lagging axis is drawing 12 (A) 90 degrees, direction of the circular light formed becomes reverse. The light in which the liquid crystal layer 7 penetrated the liquid crystal layer 7 since a lagging axis shifted 90 degrees and retardation was chosen as $\lambda/2$ turns into the circular light P4a for reverse.

[0141]By penetrating the liquid crystal layer 7, the circular light P4a reflected in the reflector 8 turns into the circular light P5a for reverse, and turns into the linear polarization P6 by penetrating the $\lambda/4$ board 3. The linear polarization P6 penetrates the $\lambda/2$ board 2, and turns into the linear polarization P7. To the linear polarization P1, the linear polarization P7 is direction crossing at a right angle, is intercepted by the light polarizer 1 and realizes a black display.

[0142]The drawing 13 (A) right-hand side shows change of light when the liquid crystal layer 7 carries out perpendicular orientation. The circular light P3a which penetrated the $\lambda/4$ board 3 penetrates the liquid crystal layer 7 of perpendicular orientation, and turns into the circular light P4b.

[0143]The circular light P4b reflected in the reflector 8 penetrates the liquid crystal layer 7 of perpendicular orientation, turns into the circular light P5b, and turns into the linear polarization P6 by penetrating the $\lambda/4$ board 3. The linear polarization P6 penetrates the $\lambda/2$ board 2, and turns into the linear polarization P7. The linear polarization P7 is the linear polarization P1 and a uniform direction, penetrates the light polarizer 1 and realizes a white display.

[0144]The liquid crystal layer 7 carries out homogeneous orientation of drawing 13 (B) in the state of a non-electric field, and the relation of the retardation of the $\lambda/2$ board 2 in the case of changing with voltage impressing to perpendicular orientation, the $\lambda/4$ board 3, and the liquid crystal layer 7 is shown roughly.

[0145]Drawing 13 (C) shows change of the reflectance R to the impressed electromotive force V in the case of drawing 13 (B). If it chooses so that slightly bigger retardation than $\lambda/2$ may be shown when the liquid crystal layer 7 carries out homogeneous orientation, when the voltage V is increased slightly, the synthetic retardation of the $\lambda/4$ board 3 and the liquid crystal layer 7 will be $\lambda/4$, and the reflectance R will serve as the minimum. If the voltage V is increased, the retardation of the liquid crystal layer 7 will be lost and the reflectance R will take the maximum.

[0146]The liquid crystal layer 7 carries out perpendicular orientation of drawing 13 (D) in the state of a non-electric field, and the relation of the retardation of the $\lambda/2$ board 2 in the case of changing with voltage impressing to homogeneous orientation, the $\lambda/4$ board 3, and the liquid crystal layer 7 is shown roughly.

[0147]Drawing 13 (E) shows the relation of the reflectance R to the impressed electromotive force V in the case of drawing 13 (D).

[0148]If the retardation value of the $\lambda/4$ board 3 is beforehand shifted from the desired value to the certain direction and synthetic retardation is adjusted with the retardation of the liquid crystal layer 7 in the composition of drawing 11 - drawing 13, A measure when change of the $\lambda/2$ board 2 and the $\lambda/4$ board 3 shifts from a desired value to an opposite direction can be taken. That is, it becomes possible to prevent the unwilling fall of contrast.

[0149]In above-mentioned composition, the white display and the black display were further obtained using the retardation of a liquid crystal layer using $\lambda/2$ board and $\lambda/4$ board. It is also possible to constitute $\lambda/4$ board by a liquid crystal layer not using $\lambda/4$ separate board.

[0150]Drawing 14 (A) - 14 (E) shows the example of composition which realized the function of $\lambda/4$ board by the liquid crystal layer not using $\lambda/4$ board. The $\lambda/2$ board 2 is arranged and the liquid crystal cell which contains the liquid crystal layer 7 in the back side of the $\lambda/2$ board 2 is arranged at the back side of the light polarizer 1. The liquid crystal layer 7 can realize the function of $\lambda/4$ board selectively. When the liquid crystal layer 7 carries out homogeneous orientation, the retardation of abbreviation $\lambda/4$ arises, and retardation is set to about 0 when the liquid crystal layer 7 carries out perpendicular orientation.

[0151]The drawing 14 (A) left-hand side shows change of incident light when the liquid crystal layer 7 carries out homogeneous orientation. The linear polarization P1 which penetrated the light polarizer 1 changes with $\lambda/2$ boards 2 to the linear polarization P2. The linear polarization P2 changes with the liquid crystal layers 7 of the homogeneous orientation arranged to the determined direction to the circular light P4.

[0152]The circular light P4 reflected in the reflector 8 changes to the linear polarization P6 by penetrating the liquid crystal layer 7. The linear polarization P6 penetrates $\lambda/2$ board, and turns into the linear polarization P7. The linear polarization P7 lies at right angles to the linear polarization P1, is intercepted by the light polarizer 1, and realizes a black display.

[0153]The drawing 14 (A) right-hand side shows change of light when the liquid crystal layer 7 carries out perpendicular orientation. By the liquid crystal layer 7 which carried out perpendicular orientation, the linear

polarization P2 which penetrated the $\lambda/2$ board 2 is not influenced, but reaches the reflector 8 as the linear polarization P4a. The linear polarization P4a reflected in the reflector 8 penetrates the liquid crystal layer 7, turns into the linear polarization P6a, penetrates the $\lambda/2$ board 2, and turns into the linear polarization P7a. The linear polarization P7a is the linear polarization P1 and a uniform direction, penetrates the light polarizer 1 and realizes a white display.

[0154] Drawing 14 (B) shows the relation of the retardation of the $\lambda/2$ board 2 in case the liquid crystal layer 7 carries out homogeneous orientation by a non-electric field, and the liquid crystal layer 7. By impressing voltage to the liquid crystal layer 7, homogeneous orientation changes to perpendicular orientation.

[0155] Drawing 14 (C) shows the relation of the reflectance R to the impressed electromotive force V in arrangement of drawing 14 (B).

[0156] The liquid crystal layer 7 carries out perpendicular orientation of drawing 14 (D) by a non-electric field, and it shows the relation of the retardation of the $\lambda/2$ board 2 in the case of carrying out homogeneous orientation by voltage impressing, and the liquid crystal layer 7.

[0157] Drawing 14 (E) shows the relation of the reflectance R to the impressed electromotive force V in the composition of drawing 14 (D).

[0158] Drawing 15 (A) - 15 (E) shows the case where the retardation at the time of the homogeneous arrangement of the liquid crystal layer 7 is slightly chosen from $\lambda/4$ greatly, in the composition of drawing 14 (A) - 14 (E). Drawing 15 (A) - 15 (E) corresponds to drawing 14 (A) - 14 (E), respectively. Since the retardation of the liquid crystal layer 7 is larger than $\lambda/4$, when it changes to perpendicular orientation slightly, $\lambda/4$ of retardation is realized. For this reason, the relation of the reflectance R to the impressed electromotive force V changes, as shown in drawing 15 (C) and 15 (E). That is, by adjustment of voltage, the optimal retardation can be adjusted and a risk of changing a retardation value to an inverse code can be prevented.

[0159] In above-mentioned explanation, it was assumed that $\lambda/2$ board, $\lambda/4$ board, and the orientation direction of a liquid crystal layer could be arranged correctly. Actually, when setting up these directions, it is difficult to avoid an angle error.

[0160] When investigated using the simulator about each optic axis of the transmission axis of a polarizing plate, $\lambda/2$ board, and $\lambda/4$ board, and the orientation direction of the liquid crystal cell, as for the angle which a polarizing plate transmission axis and the optic axis of each phase difference plate make, it turned out that the angle which $\lambda/2$ board and $\lambda/4$ board instead of a problem makes so much influences contrast greatly.

[0161] As mentioned above, if the angle at which θ_1 , a polarizing plate transmission axis, and $\lambda/4$ board make the angle which a polarizing plate transmission axis and $\lambda/2$ board make is made into θ_2 , the best black at the time of $\theta_2 = 2\theta_1 + 44$ degree will be obtained. If these two relations, angle θ_1 and θ_2 , are protected, change of some of each angle itself will be allowed. However, the axial accuracy of each board is about ± 1 time, and $\theta_2 - 2\theta_1$ may shift about a maximum of 3 times.

[0162] It turned out that the liquid crystal layer which is carrying out perpendicular orientation uses the retardation slightly generated as a tilt, and can optimize the generating direction as a compensation means of an angle gap.

[0163] Drawing 16 (A) shows the composition of a sample. The liquid crystal layer 7 is connected between the glass substrates 5 and 6 of a couple. On the back side board 6, the thin film transistor (TFT) containing the gate electrode 21, the gate dielectric film 22, the active semiconductor layer 23, the data bus (drain electrode) 24, and the source electrode 25 is formed. TFT is covered with the insulation protection film 26 which has a flattening function. The reflector 28 is formed via the contact hole 27 which penetrates an insulation protection film. Black-matrix BM was formed on the front-face side board 5, and the window of 71% of a numerical aperture is demarcated.

[0164] Drawing 16 (B) and 16 (C) are the graphs which investigated what kind of thing the influence which the orientation direction of a liquid crystal has was, when the optic axis of $\lambda/2$ board makes 13 degrees a polarizing plate transmission axis and the angle to make and it shifts in a plus direction and the minus direction from 70 degrees whose $\lambda/4$ boards are optimal angles. The horizontal axis in a figure shows orientation direction Q_{LC} of a liquid crystal layer with the relative angle to a polarizing plate transmission axis, and a vertical axis shows black luminosity in an arbitrary unit. The black display with a better value with lower black luminosity is obtained.

[0165] Drawing 16 shows the case where $\lambda/2$ board set the polarizing plate transmission axis and the angle

to make as 13 degrees, and sets angle θ_2 of $\lambda/4$ board as many [twice] $\theta_2=72$ degrees and $\theta_2=71$ degree high 1 degree from 70 optimal angles.

[0166] Drawing 16 (C) shows the case where it is set as $\theta_2=68$ degree lower 2 degrees than 70 optimal angles and $\theta_2=69$ degree low 1 degree. In the case of $\theta_2=72$ degree, the curve R+2 shows change of the black luminosity from which the curve R+1 is obtained by the orientation direction of a liquid crystal in the case of $\theta_2=71$ degree. In the case of $\theta_2=68$ degree, the curve R-2 shows change of the black luminosity from which the curve R-1 is obtained by change of the orientation direction of a liquid crystal in the case of $\theta_2=69$ degree.

[0167] Both the curve R+2 and R+1 show the minimum at orientation direction $\theta_{LC}=20$ degree of the liquid crystal layer. By the angle gap of θ_2 , although amplitude changed, it produced the minimum at the same angle.

[0168] The curve R-2 and R-1 produced the minimum of black luminosity at orientation direction $\theta_{LC}=110$ degree of the liquid crystal layer. Like the case of an angle gap of plus, even if it changed the angle gap, the position which the minimum produces did not change. This shows that it is preferred that $\Delta\theta$ which is a difference of $2\theta_1$ and θ_2 sets orientation direction θ_{LC} of a liquid crystal layer as 20 degrees when bigger than the optimum value of 44 degrees, and it is preferred that $\Delta\theta$ sets θ_{LC} as 110 degrees in being smaller than 44 degrees. A liquid crystal cell has a liquid crystal layer of the perpendicular orientation which carried out the tilt slightly.

[0169] In order to verify this effect, when an angle gap was produced, according to conventional technology, it checked what kind of influence comes out by a simulation and survey.

[0170] Drawing 17 (A) and 17 (B) are graphs which show the influence of [when an angle gap arises in the set angle of a polarizing plate, $\lambda/2$ board, and $\lambda/4$ board]. Drawing 17 (A) is a simulation value by calculation, and drawing 17 (B) is the black luminosity (reflectance) by survey when a film gap is produced.

[0171] In drawing 17 (A), the $\lambda/2$ board 2 formed in the back of the polarizing plate 1 with two $\lambda/4$ boards is arranged, the $\lambda/4$ board 3 is arranged at the back side, and the liquid crystal cell 4 is arranged via wedge prism WP. A reflector is formed on the back side board of the liquid crystal cell 4, and a liquid crystal layer is perpendicular orientation.

[0172] In a figure, a horizontal axis shows angle θ_2 to the light polarizer transmission axis of $\lambda/4$ board in a unit "degree", and a vertical axis shows Y value of black luminosity by unit 10^{-2} %. The curve Y1 shows the case where the angle to the light polarizer transmission axis of $\lambda/2$ board is fixed to 13 degrees. The curve Y2 shows the characteristic at the time of choosing to change of optical axial angle degree θ_2 of $\lambda/4$ board to a light polarizer transmission axis, so that the relation whose angle θ_1 to the light polarizer transmission axis of the optic axis of $\lambda/2$ board is $\theta_2=2\theta_1+44$ degree may be filled.

[0173] Y value increases greatly as θ_2 will separate from 70 optimum values, if θ_1 is fixed and θ_2 is changed so that clearly from a figure. On the other hand, if the angle of θ_1 and θ_2 is chosen so that a $\theta_2=2\theta_1+44$ degree relation may be filled as the curve Y2 shows, even if θ_2 separates from 70 optimum values, Y value will hardly rise.

[0174] Drawing 17 (B) shows the result of having actually measured the characteristic equivalent to drawing 17 (A). A horizontal axis shows optical axial angle degree θ_2 of $\lambda/4$ board in a unit "degree", and a vertical axis shows the reflectance R by %. The curve R1 fixes θ_1 to 13 degrees, shows the characteristic at the time of changing θ_2 , the curve R2 corresponds to change of the angle of θ_2 , and changes θ_1 , and shows the case where it is made to satisfy a $\theta_2=2\theta_1+44$ degree relation. The result of measurement is checking the result of a simulation.

[0175] Even if it sets [result / which is shown in drawing 17 (A) and 17 (B)] the degree of optical axial angle of $\lambda/2$ board, and the degree of optical axial angle of $\lambda/4$ as an optimal angle, when an angle gap arises by the margin of a manufacturing process, it turns out that the rise of an unexpected black level is caused. Even if the rise of the black luminosity by angle gap is a slight angle gap, it produces the rise of big black luminosity. For example, when $\lambda/4$ of angles shift from an optimum value once, it is observed from the result of

drawing 17 (A) and 17 (B) that reflectance or black luminosity rises more than twice.

[0176]It is thought that the angle of $\lambda/2$ board has influence of the twice of the angle of $\lambda/4$ board. Therefore, if the angle of $\lambda/2$ board shifts once, reflectance or black luminosity will increase several or more times. This means that contrast falls substantially.

[0177]The characteristic of drawing 16 shows that the rise of black luminosity can be suppressed by adjusting the orientation of a liquid crystal layer, even if the angle of $\lambda/4$ board to the angle of $\lambda/2$ board shifts from an optimum value. The orientation directions of the liquid crystal which has the function to suppress a black luminosity rise differ 90 degrees by the case where the degree of optic angle of $\lambda/4$ board is small, and the case where it is large. Then, fitness amendment will be able to be performed, if it is made for the angle of $\lambda/4$ board to shift only in the direction of prescribed polarity from an optimum value even if an angle gap arises.

[0178]As for drawing 18 (A) and 18 (B), the simulation result at the time of having made it larger than 44 degrees, setting up $\theta_2 - 2\theta_1$ intentionally smaller than 44 degrees, when [which was the optimal] it amends by a liquid crystal layer, and amending the value of $\theta_2 - 2\theta_1$ by a liquid crystal layer is shown.

[0179]In drawing 18 (A), three kinds of setting out were performed so that $\theta_2 - 2\theta_1$ might become larger than 44 degrees. The curve Y3 shows the case where θ_2 is set as 72 degrees. θ_1 is 13 optimal degrees. The curve Y4 is smaller than optimal 13 degrees, and sets θ_1 as 12 degrees, and θ_2 shows the case where it is set as 70 optimal degrees. The curve Y3 and Y4 are 46 degrees as [both] a value of $\theta_2 - 2\theta_1$. The curve Y5 keeps θ_1 at 13 optimal degrees, and shows the case where θ_2 is set as 71 degrees. The value of $\theta_2 - 2\theta_1$ is 45 degrees. Based on the simulation result shown in drawing 16, $\theta_2 - 2\theta_1$ set the orientation direction of the liquid crystal proper as a correction angle in the case of being larger than 44 degrees as about 20 degrees.

[0180]In drawing 18 (A), a horizontal axis shows the impressed electromotive force to a liquid crystal layer by V, and a vertical axis shows black luminosity or Y value in the unit of 10^{-2} %.

[0181]In 1.5V, Y value has about 20 to the curve Y3 and Y4, and the impressed electromotive force to a liquid crystal layer is about 7 also to the curve Y5 so that clearly from a figure. If impressed electromotive force is increased, Y value will decrease gradually and Y value will decrease rapidly in the range with the impressed electromotive force of greater than about 2 v. Y value below 2×10^{-2} is obtained by giving impressed electromotive force with proper curve Y3, Y4, and Y5.

[0182]Drawing 18 (B) shows the case where angle θ_2 of $\lambda/4$ [angle θ_1 of $\lambda/2$ board and] 4 board is chosen so that it may become smaller than $\theta_2 - 2\theta_1 = 44$ degree intentionally. A horizontal axis shows impressed electromotive force by V like drawing 18 (A) among a figure, and a vertical axis shows Y value by 10^{-2} %.

[0183]The curve Y6 shows the case where θ_2 is set as 68 degrees, keeping θ_1 at 13 degrees. The curve Y7 sets θ_1 as 14 degrees, and θ_2 shows the case where it keeps at 70 degrees. Both the curve Y6 and Y7 are 42 degrees as a value of $\theta_2 - 2\theta_1$. The curve Y8 sets θ_2 as 69 degrees, and shows the case where the value of $\theta_2 - 2\theta_1$ is 43 degrees. The orientation direction of the liquid crystal layer was set as about 110 degrees according to the simulation result shown in drawing 16.

[0184]Y value decreases gradually as the curve Y6, Y7, and Y8 show a both comparatively big value and impressed electromotive force increases, when impressed electromotive force is as low as 1.5V so that clearly from a figure. If impressed electromotive force is increased from about 2 v, Y value will have realized the value below strength and 2×10^{-2} % for reduction.

[0185]If it amends by a liquid crystal layer even if it shifts $\theta_2 - 2\theta_1$ from an optimum value to one polarity intentionally, low Y value can be obtained from the result shown in drawing 18 (A) and 18 (B).

[0186]Drawing 19 (A) and 19 (B) show the result of having checked the simulation result of drawing 18 (A) and 18 (B) by survey. In drawing 19 (A), it is a case where set angle θ_1 of $\lambda/2$ board to a polarizing plate transmission axis as optimal 13 degrees, set angle θ_2 of $\lambda/4$ board as 71 degrees, and it is considered as $\theta_2 - 2\theta_1 = 45$ degree. The orientation direction of the liquid crystal for $\theta_2 - 2\theta_1$ to amend since it is larger than 44 degrees was 20 degrees. Just to make sure, also when the orientation direction of a liquid

crystal was set as 110 degrees, it measured. The case where the case where voltage is not impressed to a liquid crystal layer, and the voltage of 2.5V were impressed under these conditions was measured.

[0187]In drawing 19 (A), a horizontal axis shows the wavelength of incident light in the unit nm, and a vertical axis shows black reflectance by %. The curve R3 shows the case where voltage is not impressed to a liquid crystal layer. In this case, perpendicular orientation of the liquid crystal is carried out, and an orientation direction does not affect a result. The curve R4 shows the case where the voltage of 2.5V is impressed to a liquid crystal layer, when the orientation direction of a liquid crystal layer is 20 degrees. By impressing proper voltage in a proper orientation direction, the reflectance R4 enough reduced as compared with the curve R3 is obtained in the target green wavelength field.

[0188]When the orientation direction of a liquid crystal is made into 110 degrees, in the target green wavelength field, the reflectance R5 increases rather than the reflectance R3 when not impressing voltage, and it is shown that contrast falls.

[0189]Drawing 19 (B) shows the case where $\theta_2 - 2\theta_1$ is set as a value smaller than 44 degrees. They could be $\theta_1 = 13$ degree, $\theta_2 = 69$ degree, and $\theta_2 - 2\theta_1 = 45$ degree. The horizontal axis in a figure and the vertical axis are the same as that of drawing 19 (A).

[0190]The curve R6 is the measured value when not impressing voltage to a liquid crystal layer, and the curve R7 makes the orientation direction of a liquid crystal 110 degrees, and it shows the measurement result at the time of impressing the voltage of 2.5V to a liquid crystal layer. The curve R8 sets the orientation direction of a liquid crystal as 20 degrees, and shows the case where the voltage of 2.5V is impressed to a liquid crystal layer.

[0191]In a green wavelength field, the curve R7 which chose the orientation direction of the liquid crystal layer in the suitable direction became lower than the reflectance R6 when not impressing voltage, and has realized high contrast. On the other hand, the curve R8 which chose the orientation direction of the liquid crystal in the unsuitable direction has big reflectance about 2 times rather than the reflectance R6 when not impressing voltage.

[0192]When $\theta_2 - 2\theta_1$ chooses the orientation direction of a liquid crystal as 20 degrees and impresses suitable voltage from these measured results, in being bigger than 44 degrees as expected by drawing 16 shows that a black level can be made low. On the contrary, in being smaller than 44 degrees, when $\theta_2 - 2\theta_1$ sets the orientation direction of a liquid crystal as 110 degrees and impresses suitable voltage show that a black level can be amended low.

[0193]Drawing 20 is a graph which shows the white reflectance and black reflectance of a trial production panel. The horizontal axis in a figure shows the wavelength of light in the unit nm, and a vertical axis shows white reflectance and black reflectance by %. The hatching field which attached B shows the effective wavelength area as a blue area, the hatching field which attached G shows the effective wavelength area as green regions, and the hatching field which attached R shows the effective wavelength area as a red spectrum region. In each liquid crystal cell, a bar shows the field where 200 or more contours are obtained. The conditions of a trial production panel are as follows.

[0194]Blue panel liquid crystal material LC:MF-7024 (made by Merck Co.)

Cell thickness d : 2 micrometer liquid-crystal-orientation axis (polarizing-plate transmission-axis standard): It is the retardation of a phase reference board about 110 degrees. R:155 nm x three sheets (two : 12.5 degrees, one : 68.5 degrees)

[0195]Green panel liquid crystal material LC:MF-7024 (made by Merck Co.)

Cell thickness d : 2 micrometer liquid-crystal-orientation axis (polarizing-plate transmission-axis standard): It is the retardation of a phase reference board about 110 degrees. R:140 nm x three sheets (two : 13 degrees, one : 69.5 degrees)

[0196]Red panel liquid crystal material LC:MF-7024 (made by Merck Co.)

Cell thickness d : 2 micrometer liquid-crystal-orientation axis (polarizing-plate transmission-axis standard): It is the retardation of a phase reference board about 110 degrees. R:110 nm x three sheets (two : 13.5 degrees, one : 70.5 degrees)

[0197]While the liquid crystal element is carrying out perpendicular orientation, if incident light enters at right angles to a substrate, there will be no optical anisotropy of a liquid crystal layer to the direction of [within a substrate's face]. However, if incident light carries out oblique incidence, even if the liquid crystal element is carrying out perpendicular orientation, the optical anisotropy depending on an incidence direction will arise. That is, to oblique-incidence light, it becomes equivalent [the liquid crystal layer which carried out perpendicular orientation] to the liquid crystal layer which carried out slanting orientation, and optical anisotropy is shown.

The retardation by this optical anisotropy will raise a black level.

[0198]Drawing 21 (A) shows the principal part of the optical system of one classification by color of a high-reflective-liquid-crystal display. Wedge prism WP is stuck on the front face of cross dichroic prism CDC, and incident light enters from the vertical angle and opposite hand (figure Nakashita side) of wedge prism WP. In the emission face of the cross dichroic prism CVC, lamination arrangement of the liquid crystal panel 4 which sandwiched the liquid crystal layer 7 between the substrates 5 and 6 of 3 or 1 pair of phase difference plates, such as the polarizing plate 1 and $\lambda/4$ board, is carried out. In the composition of a figure, the reflector 8 is established in the rear face of the back side board 6.

[0199]After incident light is refracted with wedge prism WP, it advances a cross dichroic prism (CDC) toward the slanting upper part from a slanting lower part, and enters into the liquid crystal layer 7 aslant. Therefore, also while the liquid crystal layer 7 is carrying out perpendicular orientation, the liquid crystal layer 7 produces retardation to incident light.

[0200]Drawing 21 (B) is a perspective view showing roughly the retardation which the liquid crystal layer to oblique-incidence light generates. To the liquid crystal layer 7, the incident light L which enters aslant will cross a liquid crystal element to an oblique direction, and senses the optical anisotropy of a liquid crystal element. Therefore, retardation occurs in the direction which projected the incident light L along the substrate normal line direction. What is necessary is just to arrange retardation material in the direction which intersects perpendicularly with the retardation of a liquid crystal, in order to offset this retardation. Such retardation material is also realizable adjusting the orientation of the liquid crystal layer 7, or by laminating separate retardation material.

[0201]Drawing 21 (C) shows the case where the retardation by oblique-incidence light is offset, by adjusting the orientation of the liquid crystal layer 7. The liquid crystal element 7a in the liquid crystal layer 7 is changed into the state 7b where it inclined to the orientation direction a little from the state of perpendicular orientation. By making the direction L of incident light, and an orientation direction cross at right angles, the retardation produced by oblique incidence can be offset by inclination of a liquid crystal element.

[0202]Drawing 21 (D) shows the case where made the direction of the incident light L, and the lagging axis cross at right angles, and it has been arranged using the retardation board 11 in order to offset the retardation by oblique incidence. By choosing a retardation value, it becomes possible to offset the retardation by oblique incidence.

[0203]Above-mentioned operation was checked with the simulation.

[0204]Drawing 22 (A) and 22 (B) are graphs which show a simulation result.

[0205]While the liquid crystal layer is carrying out perpendicular orientation of drawing 22 (A), it shows the result of having simulated change of the reflectance R20 to impressed electromotive force when the voltage which enters and impresses an oblique direction to light to a liquid crystal cell is operated to the liquid crystal layer. While impressed electromotive force is low, perpendicular orientation of the liquid crystal layer is carried out, and the reflectance R20 is about 0. If impressed electromotive force is increased and a liquid crystal layer begins to change from perpendicular orientation to homogeneous orientation, the reflectance R20 will increase and will take the maximum soon. In the composition of a figure, if impressed electromotive force increases further, the reflectance R20 will fall again. This is considered for the liquid crystal layer which carried out homogeneous orientation to function again in $\lambda/4$ boards together with the phase contrast of a phase difference plate.

[0206]The reflectance curve R20 of drawing 22 (A) looks like about 0 in a low voltage region. However, in this field, reflectance is not completely 0.

[0207]Drawing 22 (B) is the graph to which the low reflectance region was expanded. The orientation direction of the liquid crystal layer was set up become right-angled to the direction of movement of incident light.

[0208]The reflectance R21 shows about 0.001 reflectance in the field of low applied voltage from the state of the non-electric field. However, if impressed electromotive force exceeds about 1.5 v, the reflectance R21 begins to fall and impressed electromotive force shows about 0.0002 or less low reflectance near about 2.1v.

[0209]That is, in the field to which impressed electromotive force exceeded the threshold a little, a liquid crystal element begins to fall from perpendicular orientation, and the retardation accompanying this orientation change is considered to have offset the retardation by oblique incidence.

[0210]Drawing 23 (A) and 23 (B) show the example of composition which realizes an above-mentioned mechanism with a actual high-reflective-liquid-crystal display.

[0211]As shown in drawing 23 (A), the phase difference plates 3, such as $\lambda/4$ board, are arranged at the back side of the polarizing plate 1, and the liquid crystal panel 4 which has the liquid crystal layer 7 further taught to the back side among one pair of substrates 5 and 6 is arranged. In this example of composition, the

reflector 8 is established on the inner surface of the back side board 6.

[0212]The liquid crystal layer 7 is set as a thickness of 4 micrometers using Merck Co. muF-7024 which carries out perpendicular orientation, for example. Orientation treatment is performed on the substrate 5 and the 6 surface, and the direction from which a liquid crystal layer breaks down from perpendicular orientation is specified. That is, in the state of a graphic display, the light L enters into the liquid crystal layer 7 from an oblique direction lower part, and it is set up so that it may be emitted above an oblique direction. Orientation of the liquid crystal layer 7 is carried out so that it may fall on a space perpendicular direction.

[0213]Drawing 23 (B) is a diagram showing roughly the orientation relationship of the main components of drawing 23 (A). The orientation of the liquid crystal element of the incident light L and the liquid crystal layer 7 is shown in the state where it projected on the substrate face. The direction L of incident light, the lagging axis 3 of $\lambda/4$ board, the orientation direction 7 of a liquid crystal layer, and the direction 1 of the polarization axis of a polarizing plate are shown repeatedly. As shown in a figure, the orientation direction of the liquid crystal layer 7 is set up intersect perpendicularly with the direction of movement of the light L, and it is set up so that the retardation may become an equal value. Since the retardation of a liquid crystal can be adjusted with impressed electromotive force, it should just choose voltage which becomes equal to the retardation generated by oblique incidence.

[0214]Drawing 24 shows the result of having measured reflectance, using the composition of drawing 23 (A). The horizontal axis in a figure shows the wavelength of incident light by nm, and a vertical axis shows reflectance in an arbitrary unit. The curve R22 shows the reflectance in the state where voltage is not impressed to a liquid crystal layer. The curve R23 shows the reflectance in the state where the voltage of about 2.28 v was impressed to the liquid crystal layer. When voltage is impressed to a liquid crystal layer, the reflectance R23 is falling rather than the reflectance R22 when not impressing voltage clearly. In particular, in a wavelength area with a wavelength of 400 to 550 nm, decline in reflectance is remarkable.

[0215]It is desirable to change the voltage impressed to a liquid crystal layer, to measure reflectance, and to choose the optimal voltage. It is desirable for the voltage of $\pm 0.05V$ within the limits to be [within the limits of 0.1V] made to be impressed more preferably from the optimal voltage in practice.

[0216]Drawing 25 shows the case where the retardation by oblique-incidence light is compensated by the film which has weak retardation.

[0217]As shown in drawing 25 (A), liquid crystal panel composition arranges the retardation board 11 which has weak retardation in the back side of the polarizing plate 1, forms the phase difference plates 3, such as $\lambda/4$ board, in the back side, and arranges the liquid crystal panel of the drawing 24 (A) said appearance to the back side.

[0218]Drawing 25 (B) is a diagram showing the relation of each retardation when it projects on a substrate face. The retardation 7 by oblique incidence occurs in the direction of movement of the light L. The retardation board 11 is set up have a lagging axis in the direction which intersects perpendicularly with the retardation of the liquid crystal layer 7, and sets the size of retardation as a size equal to the retardation of the liquid crystal layer 7.

[0219]While the liquid crystal element is carrying out perpendicular orientation in the state where voltage is not impressed to the liquid crystal layer 7 by having such composition, the retardation produced when the light L carries out oblique incidence is offset by the retardation of the retardation board 11.

[0220]In the high-reflective-liquid-crystal display of the direct viewing type which uses outdoor daylight as illumination light, a luminosity is more important than contrast. That is, maximum reflectance is wanted to become high rather than the minimum reflectance.

[0221]The liquid crystal display of a direct viewing type is one-sheet panel structure, and the case of a colored presentation makes a light filter build in in a liquid crystal panel, and realizes a colored presentation. In a high-reflective-liquid-crystal display, although $\lambda/4$ phase difference plate of at least one sheet is used between a polarizing plate and a liquid crystal panel, it is difficult to differ a phase difference plate for every color. Therefore, it must be made to correspond to three colors with the phase difference plate of one sheet.

[0222]The center wavelength of a light range can be considered to be about 550 nm. The light path length who will be $\lambda/2$ to this center wavelength of 550 nm is about 0.27 micrometer, and the light path length who will be $\lambda/4$ is about 0.14 micrometer. As a phase difference plate, what shows the phase contrast of the range of 0.1 to 0.3 micrometer is used. Phase contrast uses a 0.13 to [0.25 micrometer to 0.29 micrometer, and] 0.15-micrometer phase difference plate preferably. The phase difference plate which has the retardation of these values is called below $\lambda/2$ board and $\lambda/4$ board.

[0223]The composition and $\lambda/2$ board which used one $\lambda/4$ board between the polarizing plate and the liquid crystal panel in consideration of the wavelength dispersion of a phase difference plate, The composition of

two phase difference plates using $\lambda/4$ board one sheet respectively, and one $\lambda/2$ board. The composition of the composition of three phase difference plates using two $\lambda/4$ boards, one $\lambda/2$ board, and four phase difference plates using three $\lambda/4$ boards is used, various the direction of a polarization axis of a polarizing plate, the direction of a lagging axis of a phase difference plate, thickness of a liquid crystal layer, and twist angles of the liquid crystal layer were boiled and changed, and it asked for the composition from which the greatest reflectance is obtained with the simulation.

[0224] Drawing 26 is a graph which shows the twist angle from which the maximum reflectance to cell thickness is obtained. A horizontal axis shows cell thickness by μm , and a vertical axis shows a twist angle with a degree. As composition of a phase difference plate, the composition of one above-mentioned sheet, two sheets, three sheets, and four sheets was considered.

[0225] In the composition using a phase difference plate one sheet, the angle of the lagging axis of a phase difference plate was set as 45 degrees to the polarization axis. In the composition of two phase difference plates, the direction of the lagging axis of $\lambda/2$ board has been arranged at 17.5 degrees to the polarization axis of a polarizing plate, and the angle of the lagging axis of $\lambda/4$ board was set as 80 degrees. In the composition of three phase difference plates, the angle of the lagging axis of $\lambda/4$ board was set as 105 degrees and 150 degrees for the angle of the lagging axis of $\lambda/2$ board 107.5 degrees. In the composition of four phase difference plates, the angle of the lagging axis of $\lambda/2$ board was set as 110 degrees, and the angle of the lagging axis of $\lambda/4$ board was set as 15 degrees, 175 degrees, and 90 degrees.

[0226] The twist angle from which maximum reflectance is obtained so that clearly from drawing 26 shows a cell thickness dependency. In the range whose cell thickness is about 3 micrometers – 5 micrometers, the ranges of the twist angle from which maximum reflectance is obtained are about 60 degrees – 75 degrees. In cell thickness, cell thickness decreases in not less than about 3-micrometer field, and the twist angle from which maximum reflectance is obtained also decreases, and the twist angle from which maximum reflectance is obtained in 2 micrometers of cell thickness is set to about 0.

[0227] Conventionally, the twist angle used for the liquid crystal panel of the high-reflective-liquid-crystal display of a direct viewing type is about 90 degrees, and the result shown in drawing 26 shows a possibility that maximum reflectance will be obtained at the time of a twist angle smaller than the conventional twist angle. When cell thickness is thinner than about 3 micrometers especially, the twist angle of about 60 degrees or less is preferred.

[0228] Drawing 27 shows the chromaticity characteristic in four kinds of above-mentioned composition. The horizontal axis in a figure shows an x-coordinate, and a vertical axis shows a y-coordinate. x seal shows among a figure the flake obtained with D65 light source. The direction of [above a flake] corresponds green, the direction of lower right corresponds to red, and a lower left field corresponds blue. A white sign shows the chromaticity coordinate of bright state, and the sign of inner substance shows the chromaticity coordinate of a dark condition.

[0229] Drawing 27 shows that such a colorless display is obtained that the number of sheets of a phase difference plate is increased.

[0230] A good display will be obtained if the number of sheets of a phase difference plate is increased putting drawing 26 and drawing 27 together. However, when a production cost and a manufacturing process are taken into consideration, little number of sheets of a phase difference plate is so preferred that there is. Probably, about two most realistic composition that use one sheet and one $\lambda/2$ board for $\lambda/4$ board is phase reference board composition.

[0231] Using a phase difference plate two sheets (one $\lambda/2$ board and one $\lambda/4$ board), the cell thickness of the liquid crystal layer was set as 3 micrometers – 5 micrometers, and the angle of the lagging axis of the phase difference plate with which the greatest reflectance is obtained, the angle of the polarization axis of a polarizing plate, and the orientation direction of the liquid crystal layer were investigated. The retardation of $\lambda/2$ board was set as 270nm, and the retardation of $\lambda/4$ board was set as 140 nm. As for the direction of liquid crystal orientation, and the angle to make, 50 degrees – 60 angles of the polarization axis of a polarizing plate were obtained 70 degrees – 80 angles of the lagging axis of $\lambda/2$ board, and the angle—40 degree —50 degree of the lagging axis of $\lambda/4$ board as a result of the simulation.

[0232] If an optimal condition is taken and it reexpresses on the basis of the polarization axis of a polarizing plate, as for the angle of the lagging axis of $\lambda/2$ board, the angle of the lagging axis of $\lambda/4$ board will turn into abbreviation—10 degree about 107.5 degrees. If this is also changed in the equivalent direction and is reexpressed, as for angle θ_1 of the lagging axis of $\lambda/2$ board, angle θ_2 of the lagging axis of $\lambda/4$ board will be 80 degrees 17.5 degrees. It becomes a $\theta_2=2\theta_1+45$ degree relation.

[0233] Hereafter, the conditions which two phase difference plates (one $\lambda/2$ board, $\lambda/4$ board **) use considered the wavelength dependency of refractive-index-anisotropy Δn of a liquid crystal layer, and the relation of reflectance. In the wavelength of 550 nm, refractive-index-anisotropy Δn of the used liquid crystal layer is five kinds, 0.048, 0.068, 0.088, 0.103, and 0.118. the maximum reflectance obtained by boiling variously the ratios $\Delta n(450)/\Delta n(650)$ of refractive-index-anisotropy $\Delta n(450)$ in the wavelength of 450 nm to with a wavelength of 650 nm refractive-index-anisotropy $\Delta n(650)$, and changing them was investigated.

[0234] Drawing 28 is a graph which shows the relation of maximum reflectance Y (%) to $\Delta n(450)/\Delta n(650)$. The horizontal axis in a figure shows $\Delta n(450)/\Delta n(650)$, and expresses the refractive index anisotropy wavelength dispersion of a liquid crystal layer. The reflectance Y of a vertical axis is a value when maximum reflectance is obtained.

[0235] Probably, as for with a wavelength [the simulation result shown in drawing 28 to] of 550 nm refractive-index-anisotropy $\Delta n(550)$, about 0.065 to about 0.070 will be preferred. At this time, the wavelength dispersion of a liquid crystal layer seldom poses a problem. The tendency for the maximum reflectance from which with a wavelength of 550 nm refractive-index-anisotropy $\Delta n(550)$ will be obtained if the wavelength dispersion of a liquid crystal layer becomes large when larger than about 0.1 to fall is seen. Probably, it will be desirable to use a small material of wavelength dispersion, when $\Delta n(550)$ uses about 0.1 or more liquid crystal layers.

[0236] Drawing 29 (A) shows the result of having investigated the rubbing angle in case maximum reflectance is obtained, and the wavelength dispersion dependency of angle of torsion. A horizontal axis shows the wavelength dispersion of $\Delta n(450)/\Delta n(650)$, and a vertical axis shows angle of torsion or a rubbing angle with a degree. It being characteristic of the result shown in this figure is that the total characteristic is almost parallel to a horizontal axis. That is, although it depends for angle of torsion and a rubbing angle in case maximum reflectance is obtained on $\Delta n(550)$, it hardly depends for wavelength dispersion.

[0237] Drawing 29 (B) is a graph which shows the $\Delta n(550)$ dependency of maximum reflectance. A horizontal axis shows $\Delta n(550)$ and % shows the maximum reflectance (Y) from which a vertical axis is obtained. It is possible that this figure rearranged the data of drawing 29 (A).

[0238] If refractive-index-anisotropy $\Delta n(550)$ in the wavelength of 550 nm is about 0.1 or less so that clearly from a figure, it turns out that high reflectance is obtained and a bright display can be realized.

[0239] The wavelength dependency and the chromaticity characteristic of retardation of the phase difference plate were examined. The retardation in the wavelength of 550 nm of $\lambda/2$ board and $\lambda/4$ board was set as 270 nm and 140 nm, respectively, the retardation ratio in the wavelength of 450 nm and the wavelength of 650 nm was set to α , and the reflectance and the chromaticity characteristic at the time of changing α were investigated.

[0240] Drawing 30 shows Y value of the optimal dark condition over the retardation ratio α of a phase difference plate. A horizontal axis shows the retardation ratio α of $\lambda/4$ board ($\lambda/4$), and a vertical axis shows Y of the optimal dark condition by %. The retardation ratio α of $\lambda/2$ board combined the thing of 1, 1.02, 1.05, 1.07, 1.1, 1.12, 1.15, 1.17, and 1.2 as a sample.

[0241] It turns out that Y value becomes small, so that from a figure and the retardation ratio of $\lambda/4$ board and $\lambda/2$ board is [one] near (so that a retardation ratio is small), and a good black display is obtained.

[0242] Drawing 31 is a graph of the chromaticity coordinate which shows the retardation ratio of a phase difference plate as a parameter. A horizontal axis shows an x-coordinate and a vertical axis shows a y-coordinate. The retardation ratio of $\lambda/4$ board becomes large as it tends toward the left from the right. The retardation ratio of $\lambda/2$ board becomes large as it goes caudad from the upper part. It turns out that colorless-ization of a dark condition is realized from these results, so that wavelength dispersion is small, and it becomes so blue that wavelength dispersion becomes large.

[0243] The result of drawing 30 and drawing 31 shows that the wavelength dependency of the retardation of a phase difference plate is so good that it is small.

[0244] In the high-reflective-liquid-crystal display of a direct viewing type, it is desirable for a bright display to be able to observe to an observer irrespective of the incidence direction of incident light.

[0245] Drawing 32 is a mimetic diagram for considering the influence of the scattering angle in the simplified liquid crystal panel.

[0246] As shown in a figure, a liquid crystal panel pinches the liquid crystal layer 7 between one pair of substrates 5 and 6. The reflector 8 shall be formed on the inner surface of the back side board 6, and incident light shall be reflected. The light scattering layer 13 shall be arranged on the outer surface of the front-face side

board 5.

[0247]The light scattering layer 13 has thickness d_{SB} , and has refractive-index n_{SB} . The transparent substrate 5 has thickness d_{GL} and refractive-index n_{GL} . The liquid crystal layer 7 has thickness d_{LC} and refractive-index n_{LC} . The light scattering layer 13 shall have dispersion width θ_w . The observer's 15 eyes presuppose that the Japanese quince of the angle δ is expected.

[0248]The angle δ which expects the Japanese quince of a picture from the normal line direction of a high-reflective-liquid-crystal display can be expressed as follows.

[0249]

[Equation 1]

$$\delta = \tan^{-1} \left[\frac{d_{LC} \tan \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{\sin \theta_w}{n_{LC}} \right) \right\} + d_{GL} \tan \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{\sin \theta_w}{n_{GL}} \right) \right\} + d_{SB} \tan \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{\sin \theta_w}{n_{SB}} \right) \right\}}{d_{LC} \tan \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{\sin \theta_w}{n_{LC}} \right) \right\} + d_{GL} \tan \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{\sin \theta_w}{n_{GL}} \right) \right\} + d_{SB} \tan \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{\sin \theta_w}{n_{SB}} \right) \right\}} \right] \quad (1)$$

The thickness of a d_{LC} :liquid crystal layer, the thickness of a d_{GL} :transparent substrate, the thickness of a d_{SB} light scattering layer, the distance of L:high-reflective-liquid-crystal display and an observer, the refractive index of an n_{LC} :liquid crystal layer, the refractive index of an n_{GL} :transparent substrate, n_{SB} : Consider it as the refractive index of a light scattering layer.

[0250]If δ is smaller than resolution δ_{EYE} of eyes, the Japanese quince of a picture will not be checked.

Therefore, the dispersion width which a Japanese quince begins to generate is as follows.

[0251]

[Equation 2]

$$\theta_w = \sin^{-1} \left[n \cdot \sin \left\{ \tan^{-1} \left(L / (d_{LC} + d_{GL} + d_{SB}) \right) - \tan \left(\delta_{EYE} / 2 \right) \right\} \right] \quad (2)$$

Here, all the refractive indices of the transparent substrate, the scattered plate, and the liquid crystal layer were made into the refractive index n for simplification. When δ_{EYE} , d_{LC} , d_{GL} , d_{SB} , L , and n are set to 4 micrometers, 0.7 mm, 100 micrometers, 40 cm, and 1.5 1/60 degree as a typical example, respectively, from (2) types, θ_w is 8 times or more and the Japanese quince of a picture will generate it. This angle changes with substrate thickness, refractive indices, etc. a little. If this situation is taken into consideration, when the half breadth of a scattering characteristic uses the scattered plate which is 10 degrees or less, a high definition high-reflective-liquid-crystal display without image blurring will be obtained.

[0252]A high definition high-reflective-liquid-crystal display without image blurring is obtained by arranging a light scattering layer to either on a reflector between a transparent substrate and a liquid crystal layer. In this case, even if it enlarges dispersion width, the Japanese quince of a picture is not generated.

[0253]Uneven shape which diffuses light can also be provided in a reflector instead of a light scattering layer. In this case, a reflector and a light scattering layer are considered to have comprised same layer. Even if it enlarges dispersion width also in this case, a Japanese quince of a picture is not generated.

[0254]Drawing 33 (A) shows basic constitution of a high-reflective-liquid-crystal display of a direct viewing type. The phase difference plates 2, 3a-3i of two or more sheets are arranged at the back side of the polarizing plate 1, and a liquid crystal panel which pinches the liquid crystal layer 7 between one pair of substrates 5 and 6 at the back side of a phase difference plate is arranged. The reflector 8 formed with metal etc. is formed on an inner surface of the back side board 6.

[0255]Drawing 33 (B) is a graph which shows a chromaticity coordinate when one phase difference plate is used, and a chromaticity coordinate when two phase difference plates are used. Compared with a chromaticity coordinate of bright state when one phase difference plate is used, and a dark condition, a chromaticity coordinate of bright state when two phase difference plates are used, and a dark condition will be in the state where it approached by a flake. In particular, coloring of a dark condition is controlled. By using two phase difference plates shows that coloring can be controlled.

[0256]A simulation of drawing 33 (B) set an angle which sets retardation of 0.27 micrometer and $\lambda/4$ board to 0.14 micrometer and at which a lagging axis of these phase difference plates makes retardation of $\lambda/2$ board with the direction of liquid crystal orientation as 72.5-45 degrees, and set the direction of a transmission axis of a polarizing plate as 55 degrees.

[0257]In addition to composition of drawing 33 (A), drawing 34 and drawing 35 show an example of composition

at the time of using a light scattering layer further.

[0258]In drawing 34, the light scattering layer 13 is arranged at the front-face side of the polarizing plate 1. As mentioned above, the light scattering layer 13 arranged out of a liquid crystal panel has ten dispersion width or less. Image blurring can be controlled by making dispersion width into 10 degrees or less.

[0259]In composition of drawing 35, a light scattering layer is arranged in a liquid crystal panel. In composition of a graphic display, the light scattering layer 13 is arranged on an inner surface of the front-face side board 5. Since a light scattering layer is arranged at a position very near a reflector, in this composition, there is not necessarily necessity of restricting dispersion width.

[0260]Drawing 36 shows composition combining and and the diffusing surface. In this composition, the surface of the metal layer 8 for reflector formation formed on the surface of the back side board 6 was made into a rugged surface which generates irregular reflection. The metal layer 8 functions as the reflector 8 and the diffusing surface 13. Also in this case, there is not necessarily necessity of restricting dispersion width.

[0261]Drawing 37 (A) -37 (C) shows an example of composition of a more concrete high-reflective-liquid-crystal display.

[0262]In drawing 37 (A), the light scattering layer 13 is arranged at the front-face side of the polarizing plate 1. On an inner surface of the front-face side board 5 of a liquid crystal panel, the light filter 15 of three colors of the red R, the green G, and the blue B is formed, and the surface is covered with the transparent electrode 16.

[0263]In composition of drawing 37 (B), the light scattering layer 13 is formed on the surface of the front-face side board 5 of a liquid crystal panel. The light filter 15 is formed on this light scattering layer 13, and the transparent electrode 16 is further formed on it.

[0264]In composition of drawing 37 (C), the metal layer 8 for forming a reflector and the diffusing surface on the surface of the back side board 6 of a liquid crystal panel (13) is formed. The color FITA layer 15 was formed on an inner surface of the front-face side board 5, and the transparent electrode 16 has covered the surface.

[0265]Drawing 37 (A) In composition of -37 (C), a phase difference plate contains the one $\lambda/2$ board 2 and the one or more $\lambda/4$ boards 3a-3i. A production cost becomes high although a better display is realizable by increasing number of sheets of a phase difference plate.

[0266]In composition of drawing 37 (A), as for dispersion width, since the light scattering layer 13 is arranged out of a liquid crystal panel, it is desirable to use less than 10 degrees.

[0267]In composition of drawing 37 (B) and 37 (C), since a scattering layer is arranged in a liquid crystal panel, it does not need to restrict dispersion width in particular.

[0268]Although this invention was explained in accordance with an example above, this invention is not restricted to these. For example, as composition of a liquid crystal panel, various composition besides a active-matrix type can be taken. In addition, probably, it will be obvious to a person skilled in the art for various change, improvement, and combination to be possible.

[0269]** The desirable gestalt of account this invention is as follows.

[0270](1) Light polarizer which has a transmission axis or an absorption axis in a reference direction within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side, The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged by 1st angle θ_1 to said

reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/2$. It has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and has been arranged by 2nd angle θ_2 to said reference direction, The 2nd phase difference plate with which said 2nd angle θ_2 is within the limits of $\theta_2 = 2\theta_1 + 45 \text{ degree} \pm 3 \text{ degree}$, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/4$ - the abbreviation $3\lambda/4$. It is arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, and has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, A high-reflective-liquid-crystal display which has a high-reflective-liquid-crystal cell which has an orientation direction where a liquid crystal layer could form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, and has been arranged by 3rd angle θ_3 to said reference direction.

[0271](2) A high-reflective-liquid-crystal display of paragraph 1 statement in which said 1st angle θ_1 is 14 degrees ± 3 degrees.

[0272](3) Light polarizer which it has a light separating machine, and red and a green and blue liquid crystal display unit, and each liquid crystal display unit has a transmission axis or an absorption axis in a reference direction within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side, The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase

leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged by 1st angle θ_1 to said reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/2$. It has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and has been arranged by 2nd angle θ_2 to said reference direction. The 2nd phase difference plate with which said 2nd angle θ_2 is within the limits of $\theta_2 = 2\theta_1 + 44^\circ \pm 1^\circ$, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/4$ - the abbreviation $3\lambda/4$. It is arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, and has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, A high-reflective-liquid-crystal display which has a high-reflective-liquid-crystal cell which has an orientation direction where a liquid crystal layer could form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, and has been arranged by 3rd angle θ_3 to said reference direction.

[0273](4) A high-reflective-liquid-crystal display of paragraph 3 statement whose liquid crystal display unit of said red is within the limits in which said 1st angle θ_1 is $13.5^\circ \pm 1^\circ$ including 8° of vertical-angles $\pm 3^\circ$ -degree wedged prism.

[0274](5) A high-reflective-liquid-crystal display given in the paragraph 3 or 4 in which said green liquid crystal display unit is within the limits in which said 1st angle θ_1 is $13^\circ \pm 1^\circ$ including 8° of vertical-angles $\pm 3^\circ$ -degree wedged prism.

[0275](6) A high-reflective-liquid-crystal display given in either of the paragraphs 3-5 in which said blue liquid crystal display units are within the limits in which said 1st angle θ_1 is $12.5^\circ \pm 1^\circ$ including 8° degrees of vertical-angles $\pm 3^\circ$ -degree wedged prism.

[0276](7) A high-reflective-liquid-crystal display given in either of the paragraphs 3-6 in which phase contrast of said 2nd phase difference plate is abbreviation $\lambda/4$, whose phase contrast formed when said liquid crystal layer carries out homogeneous orientation is abbreviation $\lambda/4$, and said 3rd angle θ_3 corresponds with said 2nd angle θ_2 mostly.

[0277](8) A high-reflective-liquid-crystal display given in either of the paragraphs 3-6 to which phase contrast of said 2nd phase difference plate is abbreviation $\lambda/4$, phase contrast formed when said liquid crystal layer carries out homogeneous orientation is about $3\lambda/4$, and said 2nd angle θ_2 and said 3rd angle θ_3 cross at right angles mostly.

[0278](9) A high-reflective-liquid-crystal display given in the paragraph 7 or 8 phase contrast of said 2nd phase difference plate has shifted [paragraph] from $\lambda/4$ and as which said 2nd phase difference plate and said liquid crystal layer can function as $\lambda/4$ board cooperatively.

[0279](10) A high-reflective-liquid-crystal display given in the paragraph 7 or 8 in which said 1st phase difference plate is formed with said 2nd phase difference plate and a phase difference plate of two sheets with the equal characteristic.

[0280](11) A high-reflective-liquid-crystal display given in the paragraph 3 from which said 2nd angle θ_2 is carrying out the angle gap from $2\theta_1 + 44^\circ$ positive or negative, and said 3rd angle θ_3 is chosen in the direction which can negate retardation change by said angle gap.

[0281](12) A high-reflective-liquid-crystal display of paragraph 11 statement in which said angle gap is positive and said 3rd angle θ_3 is chosen as 20° -degree within the limits it is [within the limits] $\pm 20^\circ$ degrees.

[0282](13) A high-reflective-liquid-crystal display of paragraph 11 statement in which said angle gap is negative and said 3rd angle θ_3 is chosen as 110° -degree within the limits it is [within the limits] $\pm 20^\circ$ degrees.

[0283](14) Light polarizer which has a transmission axis or an absorption axis in a reference direction within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side. The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged by 1st angle θ_1 to said reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/2$. The 2nd phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and has been arranged by 2nd angle θ_2 to said reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/4$. It is arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, and has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, A liquid crystal

layer can form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, It has an orientation direction arranged by 3rd angle θ_3 to said reference direction, A high-reflective-liquid-crystal display which has a high-reflective-liquid-crystal cell to which phase contrast formed when said liquid crystal layer carries out homogeneous orientation is abbreviation $\lambda/2$, and said 3rd angle θ_3 is within the limits of $\theta_3=2\theta_1+44^\circ$, and intersects perpendicularly with said 2nd angle θ_2 mostly.

[0284](15) A high-reflective-liquid-crystal display given in either of the paragraphs 1-14 in which said 1st and 2nd phase difference plates are formed by polycarbonate or/and poly vinyl alcohol.

[0285](16) Light polarizer which has a transmission axis or an absorption axis in a reference direction within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side, The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged by 1st angle θ_1 to said reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/2$, It is arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, Have an orientation direction where a liquid crystal layer could form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, and has been arranged by 2nd angle θ_2 to said reference direction, when homogeneous orientation is carried out, form phase contrast of abbreviation $\lambda/4$, and The 2nd angle θ_2 . A high-reflective-liquid-crystal display in which θ_2 has a liquid crystal cell which fills $\theta_2=2\theta_1+44^\circ$.

[0286](17) Light polarizer which has a transmission axis or an absorption axis in a reference direction within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side, The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged by 1st angle θ_1 to said reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/2$, The 2nd phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and has been arranged by 2nd angle θ_2 to said reference direction, and forms phase contrast of abbreviation $\lambda/4$, It is arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, and has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, A liquid crystal layer can form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, A high-reflective-liquid-crystal display which has an orientation direction arranged by 3rd angle θ_3 to said reference direction, and has the high-reflective-liquid-crystal cell chosen as an angle which 3rd angle θ_3 can compensate for retardation change by angle gap of 1st angle θ_1 and 2nd angle θ_2 .

[0287](18) A high-reflective-liquid-crystal display of paragraph 17 statement in which said 2nd angle θ_2 is set as a bigger angle than $2\theta_1+44^\circ$, and said 3rd angle θ_3 is set as 20° within the limits it is [within the limits] 20° .

[0288](19) A high-reflective-liquid-crystal display of paragraph 17 statement in which said 2nd angle θ_2 is set as an angle smaller than $2\theta_1+44^\circ$, and said 3rd angle θ_3 is set as 110° within the limits it is [within the limits] 20° .

[0289](20) A liquid crystal panel which has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime and in which a liquid crystal layer can form homogeneous orientation and perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, A high-reflective-liquid-crystal display set up in the direction which can offset retardation produced when light enters into a liquid crystal layer which has an optical system in which light is entered from an oblique direction in said liquid crystal panel, and by which perpendicular orientation of the orientation direction of homogeneous orientation of said liquid crystal panel was carried out to it aslant.

[0290](21) A high-reflective-liquid-crystal display of paragraph 20 statement which lies at right angles when an incidence direction and said orientation direction of said light project along a normal line direction on said substrate.

[0291](22) A liquid crystal panel which has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime and in which a liquid crystal layer can form homogeneous orientation and

perpendicular orientation selectively by existence of an electric field, It is arranged between an optical system which enters light in said liquid crystal panel from an oblique direction, and said liquid crystal panel and said optical system, A high-reflective-liquid-crystal display which has a phase difference plate which has the retardation which can offset retardation produced when perpendicular orientation of said liquid crystal layer is carried out, and incident light enters into a liquid crystal layer aslant.

[0292](23) A high-reflective-liquid-crystal display of paragraph 22 statement which lies at right angles when an incidence direction of said light and a lagging axis of said phase difference plate project along a normal line direction on said substrate.

[0293](24) A high-reflective-liquid-crystal display given in the paragraph 22 or 23 in which said phase difference plate is formed by triacetyl cellulose or cellulose acetate butylate.

[0294](25) Light polarizer which has a transmission axis or an absorption axis in the 1st angular orientation within a field, can change into predetermined linear polarization light which enters from the front-face side, and can be emitted to the back side, The 1st phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said light polarizer, and has been arranged in the 2nd angular orientation within a field, and forms the 1st phase contrast within the limits of 0.1 to 0.3 micrometer, The 2nd phase difference plate that has a lagging axis or a phase leading axis which has been arranged at the back side of said 1st phase difference plate, and has been arranged in the 3rd angular orientation within a field, and forms the 2nd phase contrast within the limits of 0.1 to 0.3 micrometer, It is arranged at the back side of said 2nd phase difference plate, and has a liquid crystal layer and a reflector which were pinched a substrate of a couple, and in the meantime, A high-reflective-liquid-crystal display which has a high-reflective-liquid-crystal cell which has a twist angle within the limits of 0 to 80 degrees when a liquid crystal layer is a non-electric field, and has an orientation direction where one side of a substrate of said couple has been arranged in the 4th angular orientation within a field.

[0295](26) A twist angle of said liquid crystal layer is within the limits of 60 to 75 degrees, and said 1st, 2nd, and 3rd angular orientation said 4th angular orientation and an angle to make, A high-reflective-liquid-crystal display of paragraph 25 statement which is within the limits of 50 degrees - 60 degrees, 70 degrees - 80 degrees, and - 40 degree--50 degree, respectively, and is within the limits in which said 1st and 2nd phase contrast is 0.25 micrometer - 0.29 micrometer, and 0.13 micrometer - 0.15 micrometer, respectively.

[0296](27) High-reflective-liquid-crystal display given in the paragraph 25 or 26 whose half breadth of the scattering characteristic of said light scattering layer it has further a light scattering layer arranged from a substrate of said couple at the front-face side, and is less than 10 degrees.

[0297](28) High-reflective-liquid-crystal display given in the paragraph 25 or 26 which has further a light scattering layer arranged between the front-face side board of a substrate of said couple, and said reflector.

[0298](29) A high-reflective-liquid-crystal display given in the paragraph 25 or 26 in which said reflector has a rugged surface which diffuses light.

[0299](30) High-reflective-liquid-crystal display given in either of the paragraphs 25-29 which has further a light filter arranged between the front-face side board of a substrate of said couple, and said reflecting layer.

[0300]

[Effect of the Invention]As explained above, according to this invention, the high-reflective-liquid-crystal display which has outstanding display properties is provided.

[0301]In a projected type high-reflective-liquid-crystal display, the reflectance of a black display can be reduced and contrast can be maintained highly.

[0302]In the high-reflective-liquid-crystal display of a direct viewing type, a bright display is realizable.

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-66598

(P2001-66598A)

(43) 公開日 平成13年3月16日 (2001.3.16)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 2 F 1/13363
1/1335

識別記号

5 2 0

F I

G 0 2 F 1/13363
1/1335

データベース* (参考)

2 H 0 9 1

5 2 0

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 36 頁)

(21) 出願番号

特願平11-239473

(22) 出願日

平成11年8月26日 (1999.8.26)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 花岡 一孝

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 田沼 清治

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100091340

弁理士 高橋 敬四郎

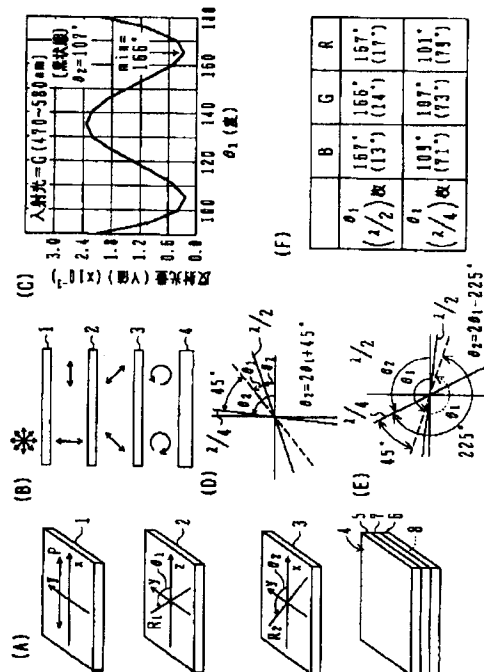
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反射型液晶表示装置

(57) 【要約】

【課題】 反射型液晶表示装置に関し、特性の優れた反射型液晶表示装置を提供することである。

【解決手段】 光分離器と赤、緑、青の液晶表示ユニットを有し、各液晶表示ユニットが、入射する光を直線偏光に変換する偏光子と、前記偏光子の光軸方向に対して第1の角度 θ_1 で配置された光軸を有し、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第1の位相差板と、前記偏光子の光軸方向に対して $\theta_2 = 2\theta_1 + 44^\circ \pm 1^\circ$ の範囲の第2の角度 θ_2 で配置された光軸を有し、約 $\lambda/4$ の位相差を形成する第2の位相差板と、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記偏光子の光軸方向に対して第3の角度 θ_3 で配置された配向方向を有する反射型液晶セルとを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 面内の基準方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、前記基準方向に対して第 1 の角度 θ_1 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第 1 の位相差板と、前記第 1 の位相差板の背面側に配置され、前記基準方向に対して第 2 の角度 θ_2 で配置された遅相軸または進相軸を有し、前記第 2 の角度 θ_2 が、 $\theta_2 = 2\theta_1 + 45^\circ \pm 3^\circ$ の範囲内であり、約 $\lambda/4 \sim 3\lambda/4$ の位相差を形成する第 2 の位相差板と、前記第 2 の位相差板の背面側に配置され、一對の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記基準方向に対して第 3 の角度 θ_3 で配置された配向方向を有する反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置。

【請求項 2】 前記第 1 の角度 θ_1 が $14^\circ \pm 3^\circ$ である請求項 1 記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 3】 光分離器と赤、緑、青の液晶表示ユニットを有し、各液晶表示ユニットが、面内の基準方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、前記基準方向に対して第 1 の角度 θ_1 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第 1 の位相差板と、前記第 1 の位相差板の背面側に配置され、前記基準方向に対して第 2 の角度 θ_2 で配置された遅相軸または進相軸を有し、前記第 2 の角度 θ_2 が、 $\theta_2 = 2\theta_1 + 44^\circ \pm 1^\circ$ の範囲内であり、約 $\lambda/4 \sim 3\lambda/4$ の位相差を形成する第 2 の位相差板と、前記第 2 の位相差板の背面側に配置され、一對の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記基準方向に対して第 3 の角度 θ_3 で配置された配向方向を有する反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置。

【請求項 4】 前記赤の液晶表示ユニットが、頂角 $8^\circ \pm 3^\circ$ の楔形プリズムを含み、前記第 1 の角度 θ_1 が $13.5^\circ \pm 1^\circ$ の範囲内である請求項 3 記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 5】 前記緑の液晶表示ユニットが、頂角 $8^\circ \pm 3^\circ$ の楔形プリズムを含み、前記第 1 の角度 θ_1 が $13^\circ \pm 1^\circ$ の範囲内である請求項 3 または 4 記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 6】 前記青の液晶表示ユニットが、頂角 $8^\circ \pm 3^\circ$ の楔形プリズムを含み、前記第 1 の角度 θ_1 が $12.5^\circ \pm 1^\circ$ の範囲内である請求項 3 ～ 5 のいずれか

に記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 7】 前記第 2 の位相差板の位相差が約 $\lambda/4$ であり、前記液晶層がホモジニアス配向した時に形成する位相差が約 $\lambda/4$ であり、前記第 3 の角度 θ_3 が前記第 2 の角度 θ_2 とほぼ一致する請求項 3 ～ 6 のいずれかに記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 8】 前記第 2 の位相差板の位相差が約 $\lambda/4$ であり、前記液晶層がホモジニアス配向した時に形成する位相差が約 $3\lambda/4$ であり、前記第 3 の角度 θ_3 が前記第 2 の角度 θ_2 とほぼ直交する請求項 3 ～ 6 のいずれかに記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 9】 前記第 2 の位相差板の位相差が $\lambda/4$ からずれており、前記第 2 の位相差板と前記液晶層とが協同して $\lambda/4$ 板として機能できる請求項 7 または 8 記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 10】 前記第 2 の角度 θ_2 が、 $2\theta_1 + 44^\circ$ より正または負に角度ずれており、前記第 3 の角度 θ_3 が前記角度ずれによるリターデーション変動を打ち消すことができる方向に選択されている請求項 3 に記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 11】 前記角度ずれが正であり、前記第 3 の角度 θ_3 が $20^\circ \pm 20^\circ$ の範囲内に選択されている請求項 10 記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 12】 前記角度ずれが負であり、前記第 3 の角度 θ_3 が $110^\circ \pm 20^\circ$ の範囲内に選択されている請求項 10 記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 13】 面内の基準方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、前記基準方向に対して第 1 の角度 θ_1 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第 1 の位相差板と、前記第 1 の位相差板の背面側に配置され、前記基準方向に対して第 2 の角度 θ_2 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/4$ の位相差を形成する第 2 の位相差板と、前記第 2 の位相差板の背面側に配置され、一對の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記基準方向に対して第 3 の角度 θ_3 で配置された配向方向を有し、前記液晶層がホモジニアス配向した時に形成する位相差が約 $\lambda/2$ であり、前記第 3 の角度 θ_3 が、 $\theta_3 = 2\theta_1 + 44^\circ \pm 1^\circ$ の範囲内であり、前記第 2 の角度 θ_2 とほぼ直交する反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置。

【請求項 14】 面内の基準方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、前記基準方向に対して第 1 の角度 θ_1 で配置された遅相軸または進相軸を有

10

20

30

40

50

し、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第 1 の位相差板と、前記第 1 の位相差板の背面側に配置され、一对の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記基準方向に対して第 2 の角度 θ_2 で配置された配向方向を有し、ホモニアス配向された時、約 $\lambda/4$ の位相差を形成し、第 2 の角度 θ_2 が $\theta_2 = 2\theta_1 + 44^\circ \pm 1^\circ$ を満たす液晶セルとを有する反射型液晶表示装置。

【請求項 15】 面内の基準方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に射出することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、前記基準方向に対して第 1 の角度 θ_1 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第 1 の位相差板と、前記第 1 の位相差板の背面側に配置され、前記基準方向に対して第 2 の角度 θ_2 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/4$ の位相差を形成する第 2 の位相差板と、前記第 2 の位相差板の背面側に配置され、一对の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記基準方向に対して第 3 の角度 θ_3 で配置された配向方向を有し、第 3 の角度 θ_3 が第 1 の角度 θ_1 と第 2 の角度 θ_2 の角度ずれによるリターデーション変動を補償できる角度に選択されている反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置。

【請求項 16】 前記第 2 の角度 θ_2 が、 $2\theta_1 + 44^\circ$ より大きな角度に設定され、前記第 3 の角度 θ_3 が $20^\circ \pm 20^\circ$ の範囲内に設定されている請求項 15 記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 17】 前記第 2 の角度 θ_2 が、 $2\theta_1 + 44^\circ$ より小さな角度に設定され、前記第 3 の角度 θ_3 が $110^\circ \pm 20^\circ$ の範囲内に設定されている請求項 15 記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 18】 一对の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができる液晶パネルと、前記液晶パネルに斜め方向から光を入射させる光学系とを有し、前記液晶パネルのホモニアス配向の配向方向が垂直配向された液晶層に光が斜めに入射することによって生じるリターデーションを相殺できる方向に設定されている反射型液晶表示装置。

【請求項 19】 一对の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができる液晶パネルと、前記液晶パネルに斜め方向から光を入射させる光学系と、

前記液晶パネルと前記光学系との間に配置され、前記液晶層が垂直配向された時、入射光が液晶層に斜めに入射することによって生じるリターデーションを相殺できるリターデーションを有する位相差板とを有する反射型液晶表示装置。

【請求項 20】 面内の第 1 の角度方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に射出することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、面内の第 2 の角度方向に配置された遅相軸または進相軸を有し、 $0.1\mu\text{m}$ から $0.3\mu\text{m}$ の範囲内の第 1 の位相差を形成する第 1 の位相差板と、

前記第 1 の位相差板の背面側に配置され、面内の第 3 の角度方向に配置された遅相軸または進相軸を有し、 $0.1\mu\text{m}$ から $0.3\mu\text{m}$ の範囲内の第 2 の位相差を形成する第 2 の位相差板と、

前記第 2 の位相差板の背面側に配置され、一对の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が無電界の時に 0° から 80° の範囲内のツイスト角を有し、前記一对の基板の一方が面内の第 4 の角度方向に配置された配向方向を有する反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置。

【請求項 21】 前記液晶層のツイスト角が 60° から 75° の範囲内であり、前記第 1、第 2、第 3 の角度方向が前記第 4 の角度方向となす角は、それぞれ $50^\circ \sim 60^\circ$ 、 $70^\circ \sim 80^\circ$ 、 $-40^\circ \sim -50^\circ$ の範囲内であり、前記第 1、第 2 の位相差がそれぞれ $0.25\mu\text{m} \sim 0.29\mu\text{m}$ 、 $0.13\mu\text{m} \sim 0.15\mu\text{m}$ の範囲内である請求項 20 記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 22】 さらに、前記一对の基板より前面側に配置された光散乱層を有し、前記光散乱層の散乱特性の半値幅は 10° 以内である請求項 20 または 21 記載の反射型液晶表示装置。

【請求項 23】 さらに、前記一对の基板の前面側基板と前記反射面との間に配置された光散乱層を有する請求項 20 または 21 記載の反射型液晶表示装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、液晶表示装置に関する、特に反射型液晶表示装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 液晶表示装置は、透過型液晶表示装置と反射型液晶表示装置を含む。透過型液晶表示装置は、液晶セルの一方の側に光源があり、他方の側に観察者がいる構成であり、通常、光源としてバックライトが用いられる。冷陰極管等の光源からの光を液晶セルに均一に導入するためには、通常、散乱板等が用いられる。

【0003】 反射型液晶表示装置は、外光を液晶セルに導入し、反射して再び液晶セルに通過させ、透過光を観察者が認識するものであり、外光としては周囲の自然界

の光や液晶表示装置用の照明光が用いられる。自然界の光を外光として利用する直視型液晶表示装置は、光源用の電力が不要であり、ノート型パソコン等の表示装置として利用価値が高い。この場合、外光の照度が低下しても表示を視認できるように表示の明るさが重視される。投写型液晶表示装置は、光源により明るさを確保できるため、表示の質を向上するため、コントラストが重視される。

【0004】このように、反射型液晶表示装置においては、明るさとコントラストが重要である。明るさは、画素の占有面積に対する透過／反射光の通過面積の比である開口率と最大反射率によって規制される。コントラストは、黒表示時の反射率によって大きな影響を受ける。

【0005】高コントラスト化のため、2色性色素を用いるゲストホスト方式が知られている。しかしながら、2色性色素は、一般に2色性比、不純物等の信頼性、経時変化などに問題がある。

【0006】高コントラスト化のため、ビームスプリッタを用いて偏光を分ける方法が知られている。ビームスプリッタは、構造的に大きな光学系であり、高価である。また、ビームスプリッタへのわずかな入射角のズレが偏光を乱す可能性がある。

【0007】液晶セルに対する入射方向と出射方向にそれぞれ角度を付け、それぞれの光路に偏光板をクロスに配置する方式が知られている。この方式では、パネルやクロスダイクロックミラーへの入射角が大きくなる。

【0008】さらに、偏光板1枚のみを用いる単純な構造の反射型液晶表示装置が知られている。黒表示を実現するため、偏光板と反射板との間に $\lambda/4$ 位相差板を挿入する。

【0009】図5(A)は、この方式の反射型液晶表示装置の構成を概略的に示す。偏光板1はx軸とy軸に対し45度傾いた偏光軸(透過軸)Pを有する。偏光板1の背面側には、 $\lambda/4$ の位相差を形成する位相差板3が配置される。位相差板3の遅相軸Rは、x軸方向に配向されている。

【0010】位相差板3の背面側には、1対の基板5、6の間に液晶層7を挟持する液晶セル4が配置される。液晶層7がホモジニアス配向をする時、液晶層7は、x軸方向に遅相軸を有する $\lambda/4$ 位相差板として機能する。1対の基板5、6間に充分高い電圧を印加すると、液晶層7は垂直配向に変化し、入射光に対し等方的な性質を示すようになる。

【0011】図5(B)は、偏光板1を透過した直線偏光の成分を示す。偏光軸Pがx軸、y軸に対しそれぞれ45度の角度で配置されるため、出射する偏光のx成分と、y成分とは等しい振幅と位相とを有する。

【0012】図5(C)は、位相差板3を通過した光のx成分とy成分とを示す。位相差板3の遅相軸Rがx軸方向を向いているため、x成分は $\lambda/4$ のリターデーション

を受ける。この結果、x成分とy成分との位相が $\lambda/4$ ずれ、位相差板3の出射光は円偏光を構成する。

【0013】図5(D)は、液晶層7が $\lambda/4$ の位相差板を構成する場合に液晶層7を通過した光のx成分とy成分とを示す。液晶層7がx方向に遅相軸を有する $\lambda/4$ 位相差板として機能するため、入射光のx成分はさらに $\lambda/4$ のリターデーションを受ける。この結果、x成分とy成分とは逆相となる。

【0014】図5(E)は、反射面で反射した光がさらに液晶層7を通過した状態のx成分とy成分とを示す。液晶層7が $\lambda/4$ の位相差板として機能するため、x成分はさらに $\lambda/4$ のリターデーションを受ける。従って、反射し、液晶層7を通過した光は、図5(C)に示す円偏光と回転方向が逆の円偏光となる。

【0015】図5(F)は、さらに位相差板3を通過した光のx成分とy成分とを示す。 $\lambda/4$ のリターデーションを有する位相差板3を通過することにより、x成分はさらに $\lambda/4$ のリターデーションを受ける。この状態を実線で示す。偏光板1への入射光のx成分とy成分とが同じ位相を有する。このため、合成される偏光は入射時の偏光と同一となり、偏光板1を通過する。このため、表示は「白」となる。

【0016】液晶セルの基板5、6間に充分高い電圧を印加すると、液晶層7は垂直配向に変化する。この時、液晶層7に入射する光は、そのまま液晶層7を通過する。従って、反射面に達する入射光は、図5(C)のままとなる。反射した光も、液晶層7をそのまま通過し、位相差板3に入射する。

【0017】位相差板3で $\lambda/4$ のリターデーションを受けると、位相差板3の出射光は、図5(F)の破線のように変化する。すなわち、偏光板1への入射光のx成分とy成分とは逆相となり、合成される偏光は当初偏光板1を通過した偏光に対し直交する方向となる。このため、反射光は偏光板1で遮断され、黒表示となる。

【0018】このように、位相差板3および液晶層7が各波長に対し $\lambda/4$ 板または等方的特性を有する光学媒質として機能する限り、液晶層7をホモジニアス配向、垂直配向に切り替えることにより、白表示、黒表示を得ることができる。

【0019】しかしながら、位相差板3および液晶層7はその屈折率異方性に波長分散を有する。

【0020】図5(G)は、波長550nmで $\lambda/4$ の位相差を形成する位相差板の楕円率の波長依存性を示す。楕円偏光の長軸aに対する短軸bの比率である楕円率 b/a は、波長550nmでは1となるが、他の波長においては1以下となっている。従って、波長550nm以外では、 $\lambda/4$ 位相差板を通過した光は完全な円偏光とはならず、楕円偏光となる。

【0021】図6(A)は、位相差板の波長分散を緩和するため、2枚の位相差板R1、R2を組み合わせる方

10

20

30

40

50

式を示す。

【0022】第1の位相差板R1は、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する。第2の位相差板R2は、約 $\lambda/4$ の位相差を形成する。位相差板R1、R2の遅相軸を偏光板の吸収軸に対し、図示の162.5度、100度の角度に選択することにより、第2の位相差板R2を通過した光を円偏光にする。

【0023】図6(B)は、図6(A)の光学系で得られる楕円率を示すグラフである。波長550nmで円偏光が得られる点は図5(G)と同様であるが、他の波長

において波長分散の効果が緩和されている。

【0024】図7は、外光を利用した反射型液晶表示装置の構成例を示す。偏光板1の背面側に位相差板3が配置され、その背面側に液晶セル4が配置される点は、図5(A)の構成と同様である。液晶セル4は、前面側の透明基板5と背面側の他の基板6の間に液晶層7を挟持し、背面側の基板6の表面上に金属反射板8を備えている。なお、金属反射板8の上方または透明基板5の内側表面上にカラーフィルタを設ければ、カラー表示のできる液晶表示装置となる。

【0025】本構成においては、偏光板1の前面側にさらに光散乱層13を備えている。自然界の外光を利用する場合、外光の入射方向にかかわらず明瞭な表示を行なうためには、入射する光を散乱することが望まれる。このため、偏光板1の前面側に光散乱層13が配置されている。

【0026】

【発明が解決しようとする課題】反射型液晶表示装置の性能を向上するためには、未だ改善すべき点が多い。例えば、反射型液晶表示装置における黒レベルを更に低下させるためには、黒表示の時の反射光をさらに低減することが望まれる。自然界の外光を利用した直視型の反射型液晶表示装置においては、明るい表示を可能とすると共に画像ボケを防止することが望まれる。

【0027】本発明の目的は、特性の優れた反射型液晶表示装置を提供することである。

【0028】本発明の他の目的は、黒表示の反射光強度をさらに低減した反射型液晶表示装置を提供することである。

【0029】本発明のさらに他の目的は、明るい表示を行なうことのできる反射型液晶表示装置を提供することである。

【0030】

【課題を解決するための手段】本発明の一観点によれば、光分離器と赤、緑、青の液晶表示ユニットを有し、各液晶表示ユニットが、面内の基準方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、前記基準方向に対して第1の角度 θ_1 で配置された遅相軸または進相軸を有し、

約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第1の位相差板と、前記第1の位相差板の背面側に配置され、前記基準方向に対して第2の角度 θ_2 で配置された遅相軸または進相軸を有し、前記第2の角度 θ_2 が、 $\theta_2 = 2\theta_1 + 44^\circ \pm 1^\circ$ の範囲内であり、約 $\lambda/4 \sim 3\lambda/4$ の位相差を形成する第2の位相差板と、前記第2の位相差板の背面側に配置され、一対の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記基準方向に対して第3の角度 θ_3 で配置された配向方向を有する反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置が提供される。

【0031】本発明の他の観点によれば面内の基準方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、前記基準方向に対して第1の角度 θ_1 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第1の位相差板と、前記第1の位相差板の背面側に配置され、前記基準方向に対して第2の角度 θ_2 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/4$ の位相差を形成する第2の位相差板と、前記第2の位相差板の背面側に配置され、一対の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記基準方向に対して第3の角度 θ_3 で配置された配向方向を有し、第3の角度 θ_3 が第1の角度 θ_1 と第2の角度 θ_2 の角度ずれによるリターデーション変動を補償できる角度に選択されている反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置が提供される。

【0032】本発明のさらに他の観点によれば、面内の第1の角度方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、面内の第2の角度方向に配置された遅相軸または進相軸を有し、0.1 μm から0.3 μm の範囲内の第1の位相差を形成する第1の位相差板と、前記第1の位相差板の背面側に配置され、面内の第3の角度方向に配置された遅相軸または進相軸を有し、0.1 μm から0.3 μm の範囲内の第2の位相差を形成する第2の位相差板と、前記第2の位相差板の背面側に配置され、一対の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が無電界の時に0°から80°の範囲内のツイスト角を有し、前記一対の基板の一方が面内の第4の角度方向に配置された配向方向を有する反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置が提供される。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する。

【0034】図1(A)は、反射型液晶表示装置の構成

10

20

30

40

50

を概略的に示す。偏光板1はx軸に沿う偏光軸Pを有する。偏光板1に対し、上方より光が入射する。偏光板1を出射する光は、x軸方向に直線偏光した光となる。

【0035】偏光板1の背面側には、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する位相差板2が配置されている。位相差板2の遅相軸R1は、x軸に対し θ_1 の角度をなす。

【0036】第1の位相差板2の背面側に、さらに第2の位相差板3が配置される。第2の位相差板3は、約 $\lambda/4$ の位相差を形成し、遅相軸R2はx軸に対し θ_2 の角度をなす。

【0037】第2の位相差板3の背面側に、液晶セル4が配置される。液晶セル4は、1対の基板5、6の間に液晶層7が挟持された構成を有する。なお、背面側基板6の表面に反射面8が形成されているものとする。液晶層7は、ホモジニアス配向と垂直配向とを選択的に取ることができる。ホモジニアス配向を取った時、液晶層7は $\lambda/4$ の位相差を形成し、 $\lambda/4$ 位相差板として機能する。この時の液晶層の遅相軸は、第2の位相差板3の遅相軸R2と同一の方向とする。

【0038】図1(B)は、図1(A)に示す反射型液晶表示装置の動作を概略的に説明する線図である。偏光子1に無偏光の光が入射する。偏光子1を透過した光は、偏光軸の方向に偏光した直線偏光となる。第1の位相差板2により、直線偏光の向きが調整される。第2の位相差板を透過した光は、円偏光となる。液晶セル4が $\lambda/4$ 位相差板として機能する場合、液晶セルに入射し、反射して出射した光は逆向きの円偏光となる。第2の位相差板3を透過することにより、逆向きの円偏光は直線偏光に変換される。第1の位相差板2により、直線偏光の向きが調整される。この時、直線偏光の向きは、入射時の直線偏光に対し直交する方向となる。従って、偏光子1によって反射光は遮断される。このため表示は黒となる。

【0039】液晶セル4が垂直配向をすると、液晶層4は偏光状態に影響を与えなくなる。この時、液晶セル4から反射され、出射する光は入射時と同じ向きの円偏光となる。第2の位相差板3、第1の位相差板2を透過した光は、入射時と同じ向きの直線偏光となる。従ってこの直線偏光は偏光子1を透過する。この時表示は白となる。

【0040】可視光の全波長領域で以上の操作が完全に行なえば、完全な黒レベルが得られる。しかしながら、位相差板、液晶に波長分散が存在すると、全波長領域にわたって完全な黒を得ることが困難になる。

【0041】本発明者等は、シンテック株式会社製「LCDマスター」を用いたシミュレーションにより、第1の位相差板の遅相軸R1の角度 θ_1 および第2の位相差板3の遅相軸R2の角度 θ_2 を種々に変化させ、最適の結果が得られる角度を解析した。

【0042】図1(C)は、入射光を490～580nm

mの緑色光とし、 θ_2 を107度に設定した時の反射光量の遅相角 θ_1 依存性を示す。図から明らかなように、反射光量の最小値は角度 $\theta_1=104^\circ$ 、 $\theta_1=166^\circ$ で生じている。

【0043】なお、角度はx軸の正方向を基準方向とし、図1(A)に示すように定義したが、x軸の負方向を基準方向としても良く、角度の方向を逆方向としても良い。また、偏光子の透過軸の代わりに吸収軸を用いても良い。位相差板に関しては、遅相軸の代わりに進相軸を用いても良い。

【0044】図1(C)に示すような最適の結果を示す角度 θ_1 、 θ_2 の関係を調べた。

【0045】図1(D)は、偏光板の偏光軸の角度に対する第1の位相差板の角度 θ_1 、第2の位相差板の角度 θ_2 の関係を概略的に示すグラフである。

【0046】これらの角度の間に、 $\theta_2=2\theta_1+45^\circ$ の関係が成り立つ時、反射光量が最小値を取ることが分かった。

【0047】なお、この結果は上述の種々の角度の取り方および軸の取り方によりその表現を変える。

【0048】図1(E)は、角度の取り方を変更した時の別の表現を示す。すなわち、 $\theta_2=2\theta_1-225^\circ$ の関係を満たす時、上述の最良の結果が得られる。すなわち、 $\theta_2=2\theta_1+45^\circ$ と $\theta_2=2\theta_1-225^\circ$ は同一の関係を示している。

【0049】なお、緑色光Gに対しては、第2の位相差板の遅相軸R2を107°に設定した時が最良の結果を生じたが、青色光Bおよび赤色光Rに対してはこれらの値はそれぞれ109°、101°となる。なお、基準軸方向を変更し、角度の向きを変更した時には109°は71°となり、107°は73°となり、101°は79°となる。

【0050】図1(F)は、これらの結果をまとめて示す。青色光B、緑色光G、赤色光Rに対し、 $\lambda/2$ の位相差を形成する第1の位相差板2の光軸の角度、 $\lambda/4$ の位相差を形成する第2の位相差板3の光軸の角度を表に示す数値とすることにより、最良の黒表示を得ることができる。

【0051】なお、以上の結果は液晶セルに光が垂直入射する条件でのシミュレーションにより得た。

【0052】従って、3板式反射型液晶表示装置の場合、青色セル、緑色セル、赤色セルに対し、それぞれ図1(F)に示す条件を満足する $\lambda/2$ 板2と $\lambda/4$ 板3を液晶セルの前面に配置することにより、最適の黒表示を得ることができる。

【0053】図2は、このような3板式反射型液晶表示装置の構成を概略的に示すブロック図および斜視図である。

【0054】図2(A)に示すように、光源LSの光を色分離器CXにより赤色、緑色、青色の3色光に分離す

10

20

30

40

50

る。これら3色光は、それぞれ赤色液晶セルR-LCD、緑色液晶セルG-LCD、青色液晶セルB-LCDに導入される。これら各液晶セルからの反射光は、合波器CYにより合波され、投射光学系PJを介してスクリーンSR上に投射される。

【0055】図2(B)は、クロスダイクロイックプリズムを用いた投射型3板式反射型液晶表示装置の1構成例の主要部を示す斜視図である。クロスダイクロイックプリズムCDCの直線方向の入射面には、頂角約8°の±3°楔プリズムWPが設けられている。楔プリズムWPには、水平方向に偏光した緑色光Gおよび垂直方向に偏光した赤色光Rおよび青色光Bが水平面より下方約25°の方向から入射される。これらの入射光は、楔プリズムWPで屈折し、クロスダイクロイックプリズムCDCにより3色に分離される。

【0056】水平方向に偏光した緑色光Gは、クロスダイクロイックプリズムを直進し、緑色液晶セルG-LCDに入射し、反射して再び楔プリズムWPを透過して投射レンズPGに達する。赤色光Rは、楔プリズムWPで屈折した後、クロスダイクロイックプリズムCDCの赤色反射面により反射され、手前に示す赤色液晶セルR-LCDに入射し、反射して再び赤色反射面で反射し、楔プリズムWPを介して投射レンズPJに達する。

【0057】青色光Bは、クロスダイクロイックプリズムCDCの青色反射面で反射され、図中背面側に示す青色液晶セルB-LCDにより反射され、再び青色反射面で反射されて投射レンズPJに至る。これら3色の反射光は、投射レンズPJによりスクリーンSR上に投射される。

【0058】図2(B)の構成において、クロスダイクロイックプリズムCDCと各液晶セルLCDの間に、 $\lambda/2$ の位相差を形成する第1の位相差板と、 $\lambda/4$ の位相差を形成する第2の位相差板とを挿入する。

【0059】なお、図1(F)の条件は、液晶セルに垂直に光が入射する条件のもとで得た。図2(B)の光学系においては、液晶セルに対して下方から斜めに光が入射する。斜め入射の場合、位相差板の最適角度は、変調を受ける。クロスダイクロイックプリズムの入射面に対し、通常25度の入射角で入射光を入射する。

【0060】図2(C)は、このような斜め入射の場合の、シミュレーションで求めた、 $\lambda/2$ 位相差板と $\lambda/4$ 位相差板との最適角度の関係を示す。なお、 $\lambda/4$ のリターデーションは、Bに対しては115nm、Gに対しては138nm、Rに対しては155nmとした。 $\lambda/4$ のリターデーションは、Bに対しては115nm、Gに対しては138nm、Rに対しては155nmとした。

【0061】なお、図1(F)および図2(C)の条件は最適の条件である。これらの角度を中心に±3度の範囲内であれば、有効な効果が認められるであろう。好ま

しくは、これらの値の±1度の範囲に角度を選択する。

【0062】なお、図2(B)に示す光学系は、楔プリズムWPを1個用い、3枚の液晶パネルに光を入射している。この構成は、光学部品の点数が少なくすむが、液晶パネルとクロスダイクロイックプリズムの間に挿入される偏光板、位相差板の各フィルムの表面で反射された光が液晶パネルからの出射光と重なってしまう。液晶パネルに入射していない光は、ノイズ成分となる。各フィルム表面で反射された光は、出力光と分離することが望ましい。

【0063】また、クロスダイクロイックプリズム表面に対し22.5度で入射する光は、楔プリズムWの表面に対しては30度以上の入射角を形成してしまう。入射角が大きくなると反射率が増大し、利用できる光強度が制限されてしまう。

【0064】図3は、このような点を改良できる光学系を示す。

【0065】図3(A)～3(D)は、表示品質を向上することのできる構成例を示す。

【0066】図3(A)は、3板式反射型液晶表示装置の色分離、光合波光学系を含む部分の概略斜視図である。クロスダイクロイックプリズムCDCの背面および左右の側面に、それぞれ偏光子、複数枚の位相差板を含むフィルム群F、楔プリズムWP、液晶セルLCDが配置されている。楔プリズムは、図2(B)の場合と同様、8°±3°の頂角を有する。入射光は、クロスダイクロイックプリズムCDCの入射面に水平方向より下方から約25°±10°の入射角で入射する。

【0067】クロスダイクロイックプリズムCDCの背面上に、緑色用のフィルム群F-Gが配置され、その背面上に緑色用楔プリズムWP-Gが配置され、その背面上に緑色液晶表示セルG-LCDが配置され、合わせて緑色用部品群G-COMPを構成している。クロスダイクロイックプリズムCDCの左右側面には、同様の構成を示す赤色用部品群R-COMP、青色用部品群B-COMPが配置されている。

【0068】図3(B)は、図3(A)の構成の上面図を概略的に示す。クロスダイクロイックプリズムCDCの3つの側面上に、フィルム群F-G、F-B、F-Rが先ず配置され、その上に楔プリズムWP-G、WP-B、WP-Rが配置され、その背面上に液晶パネルG-LCD、B-LCD、R-LCDが配置されている。入射光は、緑色成分Gはs偏光で供給され、青色光Bおよび赤色光Rはp偏光で供給される。p偏光成分は、クロスダイクロイックプリズムの対角線上の反射面によって反射される。

【0069】図3(C)は、クロスダイクロイックプリズムの側面上の積層構成を概略的に示す断面図である。クロスダイクロイックプリズムCDCの側面上には、偏光子1、 $\lambda/2$ 位相差板2、 $\lambda/4$ 位相差板3が積層さ

10

20

30

40

50

れ、その上に楔プリズムWPが配置されている。液晶パネルLCDは、楔プリズムWPの背面側に配置され、フィルム群1、2、3とは角度をなしている。液晶パネルLCDの背面には、反射板8が設けられている。

【0070】入射光は、クロスダイクロイックプリズムの側面に対したとえば25.5度の入射角度で入射する。フィルム群を透過した後、楔プリズムWPの屈折を受け、液晶パネルLCDに供給される。フィルム群1、2、3で反射された光は、クロスダイクロイックプリズムの側面に対し25.5度の入射角度を形成して右方向に進行する。これに対し、液晶層で反射された光は、楔プリズムWPの存在により、より小さな反射角度で出射する。従って、フィルム群で反射された光と、液晶層を通過して反射された光とを容易に分離することができる。また、空気中からクロスダイクロイックプリズムCDCに入射する入射角が、図2(B)の楔プリズムWPに入射する場合より小さなため、入射面での反射を抑えることができる。

【0071】図3(D)は、液晶セルの構成を概略的に示す。液晶セルは、1対の基板5、6の間にN型液晶(例えばメルク社製 $\mu F-7024$)で形成される液晶層を有する。背面基板6の表面上には、画素電極をなす反射層8が配置されると共に、画素電極の電圧を制御する薄膜トランジスタ(TFT)9が形成されている。

【0072】図3(A)~3(D)に示す構成によれば、図2(B)の構成と比べ、部品点数は増大するものの、黒レベルが低く、ノイズの少ない高画質の画像を表示することができる。この構成で、図2(C)の条件を満たすようにすれば、極めて優れた表示特性を得ることができる。この構成例については後述する。

【0073】反射型液晶表示装置において、位相差板として $\lambda/2$ 板および $\lambda/4$ 板を用いる場合、リターデーション値の変動が黒レベル、従ってコントラストに大きな影響を与えることが分かった。

【0074】図4(A)は、フィルム厚変動率に対するコントラストの関係を示す。図中横軸はフィルム厚変動率を%で示し、縦軸はコントラストを示す。フィルムは、 $\lambda/2$ 板と $\lambda/4$ 板を積層したものであり、これら2種類の位相差板の厚さが共に減少した場合を曲線CR1で示し、 $\lambda/2$ 板の厚さが減少し、 $\lambda/4$ 板の厚さが増加した時の特性を曲線CR2で示す。

【0075】図から明らかなように、 $\lambda/2$ 板と $\lambda/4$ 板が共に同符号の変動を示す時は、コントラストの変動はさほど大きくはないが、両位相差板の変動が逆符号で生じた時には、曲線CR2で示すようにわずかな膜厚変動によっても大きなコントラストの低下を招く。従って、逆符号の位相差板の厚さ変動は極力防止することが望ましい。

【0076】図4(B)は、逆符号の位相差板の膜厚変動を防止する1つの構成例を示す。本構成例において

は、偏光子1の背面側に配置する $\lambda/2$ 板2を、同一ロットから切り出した2枚の $\lambda/4$ 板2a、2bで形成する。さらに、 $\lambda/4$ 板3も、これらの $\lambda/4$ 板2a、2bと同一フィルムから切り出した $\lambda/4$ 板で形成する。すなわち、同一ロット(フィルム)から切り出した3枚の $\lambda/4$ 板を用い、1枚の $\lambda/2$ 板と1枚の $\lambda/4$ 板を構成する。同一のフィルムから切り出した位相差板であるため、位相差板2a、2b、3はほぼ同一の厚さを有し、逆符号の変化は極力防止することができる。

【0077】なお、図4(A)においては、フィルム厚変動率に対するコントラストの関係を示したが、フィルム厚変動率は、リターデーション値の変動と考えることもできる。すなわち、リターデーションが $\lambda/2$ と $\lambda/4$ に対して逆符号に変動することを極力避けることが望まれる。

【0078】図4(C)は、リターデーション値の逆符号変動を防止することのできる構成例を示す。 $\lambda/2$ 板2は、図4(B)同様2枚の $\lambda/4$ 板で形成しても良い。 $\lambda/4$ 板3xは、例えば $\lambda/4$ より小さいリターデーションを有するように形成する。液晶セル4の両基板5、6に挟まれた液晶層7は、電圧調整によりわずかな位相差を実現できるものとする。液晶層7の遅相軸を $\lambda/4$ 板3xの遅相軸と合わせ、液晶層7がわずかなリターデーションを示した時、 $\lambda/4$ 板3xとの合成により正確な $\lambda/4$ 板を形成するようにする。

【0079】液晶層7が形成するリターデーションは、電圧によって調整することができるため、電圧を選択することにより $\lambda/2$ 板2のリターデーション変動と $\lambda/4$ 板3xと液晶層7が協同して形成する $\lambda/4$ 板のリターデーション変動を同符合に選択することができる。なお、 $\lambda/4$ 板3xのリターデーションを $\lambda/4$ よりも大きくし、液晶層7の配向を $\lambda/4$ 板3xの遅相軸と直交させるようにしてもよい。

【0080】図4(D)は、他の構成を示す。本構成においては、偏光子1、 $\lambda/2$ 板2の背面に基板5、6に挟まれた液晶層7を含む液晶セル4が直接配置されている。液晶層7は、電圧印加により $\lambda/4$ を挟む範囲内のリターデーションを任意に選択できる。すなわち、 $\lambda/2$ 板2が $\lambda/2$ のリターデーションよりも大きい小さいかにより、液晶層7のリターデーションが $\lambda/4$ よりも大きい値か小さい値に調整する。このようにして、2種類の位相差板の変動の符号を同一符号とすることができる。

【0081】位相差板の材料としては、ポリカーボネート、ポリビニールアルコール等の有機材料を用いることができる。

【0082】図8(A)は、ポリカーボネートPCとポリビニールアルコールPVAの反射率の波長分散を示す。図において横軸は、波長 λ を単位nmで示し、縦軸は波長550nmでの反射率 R_{550} に対する波長 λ での

反射率 R_λ の比を示す。曲線PCはポリカーボネートの波長分散を示し、曲線PVAはポリビニールアルコールの波長分散を示す。両者の特性とも、波長が長くなるに従い R_λ/R_{550} が低下する傾向を有するが、その程度はPVAの方が著しく小さい。

【0083】図8(B)~8(F)は、偏光子と反射面との間に位相差板を挟み、変更し前面から光を入射した時の全体としての反射率を示す。なお、位相差板の遅相軸は反射率を低くするように最適化されている。

【0084】図8(B)は、ポリカーボネート(PC) 1枚で $\lambda/4$ 板を形成したときの波長 λ に対する反射率の変化をシミュレーションした結果を示す。

【0085】図8(C)は、ポリビニールアルコール(PVA) 1枚で $\lambda/4$ 板を形成した時の波長 λ に対する反射率の変化をシミュレートした結果を示す。図8(B)と比べると、PVAを用いることにより波長分散を低減することができることが分かる。

【0086】図8(D)は、ポリカーボネートを用い、1枚の $\lambda/2$ 板と1枚の $\lambda/2$ 板を形成し、最適角度に配置した時の波長 λ に対する反射率の変化をシミュレートした結果を示す。2枚の位相差板を用いることにより、図8(B)と比べ波長分散を著しく低減し、反射率を低下させることができる。

【0087】図8(E)は、PVAを用い、1枚の $\lambda/2$ 板と1枚の $\lambda/4$ 板を作成し、最適角度に組み合わせた時の波長分散をシミュレートした結果を示す。図8(D)と比べ、さらに反射率が低減し、良好な黒表示が得られる可能性が示されている。

【0088】図8(F)は、ポリカーボネートで $\lambda/4$ 板を作成し、PVAで $\lambda/2$ 板を形成し、2枚の位相差板を最適角度に組み合わせた時の波長分散をシミュレートした結果を示すグラフである。

【0089】これらの結果を考察すると、ポリカーボネートよりもPVAを用いた時に波長分散がより有効に抑制でき、より良好な黒レベルを得られる可能性が示されている。しかしながら、製造工程等を考慮すると、ポリカーボネートがPVAよりも扱い易い特徴もあり、条件に応じてこれらの材料を使い分けることが望ましい。

【0090】図1(F)、図2(C)に示す方式は、具体的には種々の構成で実現できる。以下、良好な黒レベルを得ることができる構成例について説明する。

【0091】図9(A)、9(B)は、液晶層材料としてホモジニアス配向を示す液晶を用いた場合、および垂直配向を示す液晶を用いた場合を概略的に示す。

【0092】両図において、偏光板1の背面側に $\lambda/2$ 板2が配置される。この $\lambda/2$ 板には、2枚の $\lambda/4$ 板2a、2bを積層することにより作成しても良い。 $\lambda/2$ 板の背面側には、 $\lambda/4$ 板3が配置される。 $\lambda/3$ 板の背面側に、液晶セル4が配置される。液晶セル4は、2枚の基板5、6の間に液晶層7が挟持された構成を有

する。背面側の基板6の表面上には、反射面8が形成されている。

【0093】図9(A)においては、液晶層7として液晶分子が基板5上の配向方向に沿って基板に平行なホモジニアス配向を示す液晶を用い、両基板5、6間に電圧を印加した時、液晶層が垂直配向に変化する場合を示す。

【0094】図9(B)は、液晶層7として液晶分子が基板に対して垂直配向する液晶を用い、両基板5、6間に電圧を印加した時、ホモジニアス配列に変化する場合を示す。なお、電圧印加時にも、基板5、6の界面付近の液晶分子は、強いアンカ力によって基板上に拘束されている状態を示す。

【0095】また、ホモジニアス配向、垂直配向共に完全に基板に対して平行または垂直に配向する場合のみでなく、わずかな角度をなす場合を含めるものとする。

【0096】図9(C)は、 $\lambda/2$ 板2の遅相軸R1と $\lambda/4$ 板3の遅相軸R2とを最適の角度に配列した状態を示す。

【0097】図9(D)は、図9(C)に示す方向の位相差板と組み合わせる液晶層7のリターデーション変化を概略的に示す。液晶層7のリターデーションは、 $\lambda/4$ 板3の遅相軸と同一方向に発生する。垂直配向のときは、液晶層7のリターデーションはほぼ0となる。液晶層7のリターデーションが0の場合、入射光は $\lambda/2$ 板2および $\lambda/4$ 板3でリターデーションを受ける。 $\lambda/2$ 板2と $\lambda/4$ 板3の遅相軸が最適の条件を満たしていれば、最適の黒表示が得られる。

【0098】液晶層7が $\lambda/4$ のリターデーションを示すようになると、 $\lambda/4$ 板3と液晶層7のリターデーションの和は $\lambda/2$ となり、出射光の偏光方向は入射光の偏光方向と一致し、反射光は偏光板を通過して出射する。従って、この時に液晶パネルは白表示となる。

【0099】図9(E)は、 $\lambda/4$ 板3の遅相軸に対し、液晶層7のリターデーション軸が直交方向に配列された場合を示す。例えば、液晶層7はホモジニアス配向した時 $3\lambda/4$ のリターデーションを示し、垂直配向した時ほぼ0のリターデーションを示す。リターデーションが0の時、前述と同様液晶パネルは黒表示となる。液晶層が $3\lambda/4$ のリターデーションを示すと、 $\lambda/4$ 板3と液晶層7の合成リターデーションは、最適方向と直交する方向の $\lambda/2$ となる。この時、反射光の偏光方向は入射光の偏光方向と平行となり、反射光は偏光板を透過して白表示を実現する。

【0100】図9(F)は、 $\lambda/4$ 板3の遅相軸R2の方向を、図1(F)と図2(C)に示す最適方向と直交する方向に選んだ場合を示す。このままでは、黒表示を実現することはできない。

【0101】図9(G)は、図9(F)に示す位相差板と共に組み合わせる液晶層7の配向方向を概略的に示す。液晶層7は、ホモジニアス配向した時 $\lambda/4$ 板の遅

相軸と直行する方向に $\lambda/2$ のリターデーションを示す。 $\lambda/4$ 板3と液晶層7のリターデーションの和は、液晶層7のリターデーション方向に $\lambda/4$ のリターデーション値を示すものとなる。従って、この時最適な黒表示が得られる。液晶層7が垂直配向すると、液晶層7のリターデーションは失われ、白表示となる。

【0102】図9(H)は、 $\lambda/4$ 板を省略した構成を示す。位相差板としては、 $\lambda/2$ 板2のみが用いられる。 $\lambda/4$ 板の機能は、液晶層7によって付与される。

【0103】図9(I)は、液晶層7のリターデーションの変化を示す。液晶層7がホモニアス配向した時、液晶層7は最適方向に配置された $\lambda/4$ 位相差板の機能を果たす。この時、最適の黒表示が得られる。液晶層7が垂直配向すると、 $\lambda/4$ 板の機能が失われ、白表示となる。

【0104】これらの機能構成は、さらに種々の形態によって実現することができる。

【0105】図10(A)～10(E)は、図9(C)、9(D)の機能を実現する1つの形態を示す。

【0106】図10(A)において、中央部に液晶表示装置の構成を示す。偏光子1の背面側に、 $\lambda/2$ 板2が配置される。この $\lambda/2$ 板は、上述のように2枚の $\lambda/4$ 板2a、2bで形成することができる。 $\lambda/2$ 板2の背面側に、リターデーションがちょうど $\lambda/4$ である $\lambda/4$ 板3が配置される。 $\lambda/4$ 板3の背面側に、1対の基板5、6の間に液晶層7を挟持した液晶セルが配置される。背面基板6の表面上には、反射面8が形成されている。

【0107】なお、液晶層7は、左側に示すホモニアス配向と、右側に示す垂直配向とを選択的に取ることができる。ホモニアス配向を取った時の液晶層7は、リターデーション値が丁度 $\lambda/4$ となり、その配向は $\lambda/4$ 板3と同方向である。

【0108】図10(A)の左側は、液晶層7がホモニアス配向した時の光の変換過程を示す。偏光子1を透過した光は、直線偏光P1となり、 $\lambda/4$ 板2を通過することにより、方向を変化した直線偏光P2となる。直線偏光P2が、 $\lambda/4$ 板3を透過することにより、円偏光P3となる。円偏光P3が、さらに $\lambda/4$ 板として機能する液晶層7を透過することにより、直線偏光P2と直交する直線偏光P4が形成される。

【0109】この直線偏光P4が、反射面8で反射され、液晶層7を再び透過することにより、円偏光P3と逆方向の円偏光P5となる。円偏光P5は、 $\lambda/4$ 板3を透過することにより、直線偏光P6となる。直線偏光P6は直線偏光P2と平行な向きである。直線偏光P6は、 $\lambda/2$ 板2を透過することにより直線偏光P7となる。直線偏光P7は、直線偏光P1と同一方向であり、偏光子1を透過する。このようにして白表示が達成される。

【0110】図10(A)右側は、液晶層7が垂直配向した時の光の変換を示す。偏光子1を透過し、 $\lambda/4$ 板3を透過するまでは図中左側に示す場合と同様である。液晶層7が垂直配向しているため、円偏光P3は液晶層7の影響を受けず、液晶層7を透過した時、同一の円偏光P4aとなる。

【0111】反射面8で反射した円偏光P4aは、そのまま液晶層7を透過して円偏光P5aとなり、 $\lambda/4$ 板3を透過することにより直線偏光P6aとなる。直線偏光P6aは直線偏光P2と直交する向きである。直線偏光P6aは、 $\lambda/2$ 板2を透過して直線偏光P7aに変化する。直線偏光P7aは、直線偏光P1と直交する方向であり、偏光子1によって遮断される。このようにして黒表示が達成される。

【0112】図10(B)は、液晶層7が無電界の時ホモニアス配向をし、電界印加によって垂直配向する場合の $\lambda/2$ 板2、 $\lambda/4$ 板3、液晶層7のリターデーション方向の関係を示す。

【0113】図10(C)は、図10(B)の場合の電圧に対する反射率の変化を概略的に示すグラフである。電圧無印加の時に、図10(A)左側の状態となり、反射率が高く白表示がなされ、電圧印加して液晶層7が垂直配向すると反射光が遮断され、反射率が0となり黒表示が実現される。

【0114】図10(D)は、液晶層7が無電界の時垂直は意向し、電圧印加によりホモニアス配向に変化する場合の $\lambda/2$ 板2、 $\lambda/4$ 板3、液晶層7のリターデーション方向の変化を概略的に示す。液晶層7のリターデーションが図10(B)の場合と反転している以外は、図10(B)と同様である。

【0115】図10(E)は、図10(D)の場合の電圧に対する反射率Rの変化を概略的に示す。電圧無印加状態で、液晶層7は垂直配向であり、図10(A)右側に示すように、反射光は偏光子1によって遮断される。このため、電圧無印加状態は黒表示である。電圧を印加して行くと、液晶層7がホモニアス配向に変化して行き、反射率Rは徐々に増加し、液晶層7が $\lambda/4$ のリターデーションを示した時に最大の反射率を示す。

【0116】図10(A)～10(E)においては、 $\lambda/4$ 板3および液晶層7が丁度 $\lambda/4$ のリターデーションを示す場合を説明した。前述のように、 $\lambda/2$ の板のリターデーション値の変動と、 $\lambda/4$ 板3のリターデーション値の変動とが逆符号となると、黒レベルが持ちあがり、コントラストが大きく低下してしまう。これを防止するためには、 $\lambda/2$ 板と $\lambda/4$ 板の機能を果たす部材とが同一極性のリターデーション変動を示すようにすることが有効である。

【0117】図11(A)は、図10(A)と同様の構成であるが、 $\lambda/4$ 板3のリターデーション値が $\lambda/4$ よりもわずかに小さく、液晶層7はわずかにホモニア

ス配向した時、 $\lambda/4$ 板3と共に $\lambda/4$ のリターデーションを形成でき、充分ホモジニアス配向した時には、 $\lambda/4$ 板3と共に $\lambda/2$ のリターデーションを実現できるように構成されている。

【0118】図11(A)、左側は、入射光の偏光状態がどのように変化するかを示している。偏光子1を通過した直線偏光P1は、 $\lambda/2$ 板2により直線偏光P2となり、リターデーションが $\lambda/4$ よりもわずかに小さい $\lambda/4$ 板3を透過することにより、楕円偏光P3となる。この楕円偏光P3は、リターデーション値が $\lambda/4$ よりもわずかに大きい液晶層7を透過することにより、直線偏光P2と直交する直線偏光P4となる。

【0119】反射面8により反射された直線偏光P4は、リターデーションが $\lambda/4$ よりもわずかに大きい液晶層7を透過することにより楕円偏光P3と逆向きの楕円偏光P5となる。楕円偏光P5は、リターデーションが $\lambda/4$ よりもわずかに小さい $\lambda/4$ 板3を透過することにより直線偏光P2と平行な直線偏光P6となり、 $\lambda/2$ 板2を透過して直線偏光P7になる。直線偏光P7は、直線偏光P1と同一方向であり、偏光子1を透過して白表示を示す。

【0120】図11(A)右側は、液晶層7がわずかにホモジニアス配向を残した垂直配向となり、 $\lambda/4$ 板3と共同して $\lambda/4$ の位相差を形成する場合を示す。 $\lambda/4$ 板3を透過した楕円偏光P3は、わずかにホモジニアス配向した液晶層7を透過することにより円偏光P4aに変化する。

【0121】反射面8で反射した円偏光P4aは、液晶層7を透過することにより楕円偏光P5aとなり、リターデーションが $\lambda/4$ よりもわずかに小さい $\lambda/4$ 板3を透過することにより直線偏光P2と直交する直線偏光P6aに変化する。直線偏光P6aは、 $\lambda/2$ 板2を透過することにより直線偏光P7aとなる。この直線偏光P7aは、直線偏光P1と直行する方向であり、偏光子1によって遮断され、黒表示を実現する。

【0122】図11(B)は、液晶層が無電界時にホモジニアス配向であり、電圧印加により直線偏光に変化する場合の $\lambda/2$ 板、 $\lambda/4$ 板3、液晶層7のリターデーションの関係を概略的に示す。 $\lambda/4$ 板3のリターデーションが $\lambda/4$ よりも小さく、ほぼ垂直配向した液晶層7と合わせて $\lambda/4$ のリターデーションを実現し、液晶層7が充分ホモジニアス配向する時、 $\lambda/4$ 板3と合わせて $\lambda/2$ のリターデーションを実現する。

【0123】図11(C)は、図11(B)の配置の場合の印加電圧に対する反射率の関係を示す。電圧を印加しない状態においては反射率は未だ最大値となっていない。電圧を印加し、液晶層7がわずかに垂直配向に変化し、 $\lambda/4$ 板3と合わせて $\lambda/2$ のリターデーションを実現する時、反射率Rは最大値を取る。

【0124】印加電圧を増大して行き、液晶層7のリタ

ーデーションが減少し、 $\lambda/4$ 板3のリターデーションと合わせて $\lambda/4$ のリターデーションとなる時、反射率Rは最低値を示す。さらに電圧を印加し、液晶層7が完全に垂直配向すると、リターデーションは $\lambda/4$ よりも小さくなるため、反射率はわずかに持ち上がる。

【0125】図11(D)は、液晶層7が無電界の状態では垂直配向であり、電界印加によりホモジニアス配向に変化する場合を示す。なお、この垂直配向はプレチルトを含み、電圧を印加した時、液晶分子の倒れる方向は $\lambda/4$ 板3のリターデーション方向と一致するように選択されている。

【0126】液晶層7は、わずかにホモジニアス配向に変化した時に $\lambda/4$ 板3と共同して $\lambda/4$ のリターデーションを実現し、充分にホモジニアス配向した時に $\lambda/4$ 板3と共同して $\lambda/2$ のリターデーションを実現する。

【0127】図11(E)は、図11(D)の場合の印加電圧Vに対する反射率Rの変化を示す。電圧無印加状態では、液晶層7は垂直配向であり、 $\lambda/4$ 板3のリターデーションが $\lambda/4$ よりも小さいため、反射率は0よりも持ち上がった値を示す。電圧印加により液晶分子がわずかに倒れると、 $\lambda/4$ 板3のリターデーションと液晶層7のリターデーションとを合わせて $\lambda/4$ のリターデーションが実現され、反射率Rは最低値となる。さらに電圧を印加すると、リターデーションは徐々に増大し、 $\lambda/2$ のリターデーションとなった時に反射率Rは最大値となる。

【0128】以上の構成においては、液晶層の配向方向と $\lambda/4$ の遅相軸の方向を一致させた。これらの方向を垂直方向とすることにより、同様の機能を実現することもできる。

【0129】図12(A)～12(E)は、図9(C)に示す $\lambda/2$ 板2、 $\lambda/4$ 板3の配置と、図9(E)に示す液晶層7の配置とを用いた場合の構成例を示す。

【0130】図12(A)において、偏光子1、 $\lambda/2$ 板2、 $\lambda/4$ 板3は前述の構成と同様である。なお、 $\lambda/4$ 板3のリターデーションは、 $\lambda/4$ よりもわずかに大きくするように選択する。液晶層7は、ホモジニアス配向と垂直配向とを選択的にとることのできるものであり、ホモジニアス配向した時のリターデーションは、 $3\lambda/4$ よりも大きくするように選択する。このような構成とすることにより、 $\lambda/4$ 板3と液晶層7が共同して、 $\lambda/4$ のリターデーションと、直交方向の $\lambda/2$ のリターデーションとを実現できるようにする。

【0131】図12(A)左側は、液晶層7がホモジニアス配向し、液晶層7と $\lambda/4$ 板3が協同し、黒表示に最適な遅相軸に対し垂直方向に $\lambda/2$ のリターデーションを形成する場合の入射光の偏光状態の変化を示す。 $\lambda/2$ 板2を通過した直線偏光P2は、リターデーションが $\lambda/4$ よりもわずかに大きい $\lambda/4$ 板3を透過すること

により、楕円偏光P3となる。この楕円偏光P3は、直交方向のリターデーションが $3\lambda/4$ よりもわずかに大きい液晶層7を透過することにより、直線偏光P4に変化する。反射面8で反射した直線偏光P4は、液晶層7を透過することにより楕円偏光P5に変化し、さらに $\lambda/4$ 板3を透過することにより直線偏光P6となる。直線偏光P6は、 $\lambda/2$ 板2を透過して直線偏光P7となる。この直線偏光P7は、直線偏光P1と同一方向であり、偏光子1を透過して白表示を実現する。

【0132】図12(A)右側は、液晶層7がほとんど垂直配向し、リターデーションが $\lambda/4$ よりもわずかに大きい $\lambda/4$ 板3と協同して $\lambda/4$ のリターデーションを実現する。 $\lambda/2$ 板2を透過した直線偏光P2は、リターデーションが $\lambda/4$ よりもわずかに大きい $\lambda/4$ 板3を透過することにより楕円偏光P3となる。この楕円偏光P3は、わずかにホモニアス配向した液晶層7を透過することにより、円偏光P4aとなる。

【0133】反射面8で反射した円偏光P4aは、液晶層7を透過することにより楕円偏光Paとなり、リターデーションが $\lambda/4$ よりもわずかに大きい $\lambda/4$ 板3を透過することにより直線偏光P6aとなり、さらに $\lambda/2$ 板2を透過することにより直線偏光P7aとなる。直線偏光P7aは、直線偏光P1と直交する方向であり、偏光子1によって遮断される。このようにして黒表示が実現される。

【0134】図12(B)は、液晶層7が無電界時にホモニアス配向であり、電圧印加により垂直配向に変化する場合の $\lambda/2$ 板2、 $\lambda/4$ 板3、液晶層7のリターデーションの関係を概略的に示す。

【0135】図12(C)は、図12(B)の配置の場合の印加電圧Vに対する反射率Rの関係を示す。印加電圧Vを増大していくと、先ずホモニアス配向した液晶層7がわずかに垂直方向に配向し、リターデーションが減少する。 $\lambda/4$ 板3のリターデーションと、液晶層7のリターデーションの和が液晶層7の配向方向で $\lambda/2$ となる時反射率Rは最大値となる。

【0136】さらに印加電圧を増加すると、液晶層7は垂直配向の傾向を増加し、反射率Rは徐々に減少する。液晶層7がほぼ垂直配向し、 $\lambda/4$ 板3との合成リターデーションが $\lambda/4$ 板3のリターデーション方向でちょうど $\lambda/4$ となる時、反射率Rは最小値となる。

【0137】図12(D)は、液晶層7が垂直配向し、電圧印加により $\lambda/4$ 板3の遅相軸に対し垂直方法にホモニアス配向する場合の $\lambda/2$ 板2、 $\lambda/4$ 板3、液晶層7のリターデーションの関係を概略的に示す。

【0138】図12(E)は、図12(D)の場合の印加電圧Vに対する反射率Rの関係を概略的に示す。わずかに電圧を印加し、液晶層7と $\lambda/4$ 板3の合成リターデーションが $\lambda/4$ となる時、反射率Rは最小値となり、さらに印加電圧を増加すると反射率Rは増大する。

$\lambda/4$ 板3と液晶層7の合成リターデーションが、液晶層7のリターデーション方向で $\lambda/2$ となる時、反射率Rは最大値となる。

【0139】図13(A)～13(E)は、図12(A)～12(E)の場合の $\lambda/4$ 板3と液晶層7の方位関係を反転した場合を示す。なお、液晶層7は、ホモニアス配向した時 $\lambda/2$ のリターデーションを示すものとする。

【0140】図13(A)の左側において、 $\lambda/4$ 板3を透過した光は、遅相軸が図12(A)の場合と90度ずれているため、形成される円偏光の向きは逆となる。液晶層7は、遅相軸が90度ずれ、リターデーションが $\lambda/2$ に選択されているため、液晶層7を透過した光は逆向きの円偏光P4aとなる。

【0141】反射面8で反射した円偏光P4aは、液晶層7を透過することにより逆向きの円偏光P5aとなり、 $\lambda/4$ 板3を透過することにより直線偏光P6となる。直線偏光P6は、 $\lambda/2$ 板2を透過して直線偏光P7となる。直線偏光P7は、直線偏光P1に対して直交方向であり、偏光子1により遮断され黒表示を実現する。

【0142】図13(A)右側は、液晶層7が垂直配向した時の光の変化を示す。 $\lambda/4$ 板3を透過した円偏光P3aは、垂直配向の液晶層7を透過して円偏光P4bとなる。

【0143】反射面8で反射した円偏光P4bは、垂直配向の液晶層7を透過して円偏光P5bとなり、 $\lambda/4$ 板3を透過することにより直線偏光P6となる。直線偏光P6は、 $\lambda/2$ 板2を透過して直線偏光P7となる。直線偏光P7は、直線偏光P1と同一方向であり、偏光子1を透過して白表示を実現する。

【0144】図13(B)は、無電界の状態で液晶層7がホモニアス配向し、電圧印加により垂直配向に変化する場合の $\lambda/2$ 板2、 $\lambda/4$ 板3、液晶層7のリターデーションの関係を概略的に示す。

【0145】図13(C)は、図13(B)の場合の印加電圧Vに対する反射率Rの変化を示す。なお、液晶層7がホモニアス配向した時、 $\lambda/2$ よりもわずかに大きなリターデーションを示すように選択すると、電圧Vをわずかに増加した時に $\lambda/4$ 板3と液晶層7の合成リターデーションが $\lambda/4$ となり、反射率Rが最小値となる。電圧Vを増加すると、液晶層7のリターデーションが失われ、反射率Rは最大値を取る。

【0146】図13(D)は、無電界の状態で液晶層7が垂直配向し、電圧印加によりホモニアス配向に変化する場合の $\lambda/2$ 板2、 $\lambda/4$ 板3、液晶層7のリターデーションの関係を概略的に示す。

【0147】図13(E)は、図13(D)の場合の印加電圧Vに対する反射率Rの関係を示す。

【0148】図11～図13の構成において、 $\lambda/4$ 板

3のリターデーション値を所望の値から一定方向に予めずらしておき、液晶層7のリターデーションによって合成リターデーションを調整するようにすれば、 $\lambda/2$ 板2と $\lambda/4$ 板3の変動が所望値から逆方向にずれた場合の対策を講じることができる。すなわち、コントラストの不本意の低下を防止することが可能となる。

【0149】上述の構成においては、 $\lambda/2$ 板と $\lambda/4$ 板を用い、さらに液晶層のリターデーションを利用して白表示と黒表示を得た。別個の $\lambda/4$ 板を用いず、液晶層により $\lambda/4$ 板を構成することも可能である。

【0150】図14(A)～14(E)は、 $\lambda/4$ 板を用いず、液晶層によって $\lambda/4$ 板の機能を実現した構成例を示す。偏光子1の背面側には、 $\lambda/2$ 板2が配置され、 $\lambda/2$ 板2の背面側に液晶層7を含む液晶セルが配置される。液晶層7は、 $\lambda/4$ 板の機能を選択的に実現することができる。液晶層7がホモジニアス配向した時、約 $\lambda/4$ のリターデーションが生じ、液晶層7が垂直配向した時にはリターデーションはほぼ0となる。

【0151】図14(A)左側は、液晶層7がホモジニアス配向した時の入射光の変化を示す。偏光子1を透過した直線偏光P1は、 $\lambda/2$ 板2により直線偏光P2に変化する。直線偏光P2は、所定方向に配列したホモジニアス配向の液晶層7により、円偏光P4に変化する。

【0152】反射面8で反射した円偏光P4は、液晶層7を透過することにより、直線偏光P6に変化する。直線偏光P6は、 $\lambda/2$ 板を透過して直線偏光P7になる。直線偏光P7は、直線偏光P1と直交しており、偏光子1によって遮断され、黒表示を実現する。

【0153】図14(A)右側は、液晶層7が垂直配向した時の光の変化を示す。 $\lambda/2$ 板2を透過した直線偏光P2は、垂直配向した液晶層7によって影響を受けず、直線偏光P4aとして反射面8に達する。反射面8で反射した直線偏光P4aは、液晶層7を透過して直線偏光P6aとなり、 $\lambda/2$ 板2を透過して直線偏光P7aとなる。直線偏光P7aは、直線偏光P1と同一方向であり、偏光子1を透過して白表示を実現する。

【0154】図14(B)は、液晶層7が無電界でホモジニアス配向する時の $\lambda/2$ 板2と液晶層7のリターデーションの関係を示す。液晶層7に電圧を印加することにより、ホモジニアス配向が垂直配向に変化する。

【0155】図14(C)は、図14(B)の配置において、印加電圧Vに対する反射率Rの関係を示す。

【0156】図14(D)は、液晶層7が無電界で垂直配向し、電圧印加によってホモジニアス配向する場合の $\lambda/2$ 板2と液晶層7のリターデーションの関係を示す。

【0157】図14(E)は、図14(D)の構成の場合の印加電圧Vに対する反射率Rの関係を示す。

【0158】図15(A)～15(E)は、図14(A)～14(E)の構成において、液晶層7のホモジ

ニアス配列時のリターデーションが、 $\lambda/4$ よりもわずかに大きく選ばれている場合を示す。図15(A)～15(E)は、それぞれ図14(A)～14(E)に対応する。液晶層7のリターデーションが $\lambda/4$ よりも大きいため、わずかに垂直配向に変化した時に $\lambda/4$ のリターデーションが実現される。このため、印加電圧Vに対する反射率Rの関係は、図15(C)、15(E)に示すように変化する。すなわち、電圧の調整により、最適のリターデーションを調整することができ、リターデーション値が逆符号に変動する危険を防止することができる。

【0159】上述の説明においては、 $\lambda/2$ 板、 $\lambda/4$ 板、および液晶層の配向方向は正確に配列できるものと想定した。実際には、これらの方向を設定する際、角度誤差を避けることは難しい。

【0160】偏光板の透過軸、 $\lambda/2$ 板、 $\lambda/4$ 板の各光軸、液晶セルの配向方向について、シミュレータを用いて調べたところ、偏光板透過軸と個々の位相差板の光軸がなす角度はそれ程問題ではなく、 $\lambda/2$ 板と $\lambda/4$ 板のなす角度がコントラストを大きく左右することが分かった。

【0161】前述のように、偏光板透過軸と $\lambda/2$ 板のなす角度を θ_1 、偏光板透過軸と $\lambda/4$ 板のなす角度を θ_2 とすると、 $\theta_2 = 2\theta_1 + 4^\circ$ の時に最も良好な黒が得られる。この2つの角度 θ_1 、 θ_2 の関係が守られれば、各角度自体の多少の変動は許される。しかし、各板の軸精度は約 ± 1 度程度であり、 $\theta_2 - 2\theta_1$ は最大3度程度ずれることがあり得る。

【0162】角度ずれの補償手段として、垂直配向している液晶層がわずかにチルトとして発生するリターデーションを利用し、その発生方向を最適化できることが分かった。

【0163】図16(A)はサンプルの構成を示す。一対のガラス基板5、6間に液晶層7が接続されている。背面側基板6上にはゲート電極21、ゲート絶縁膜22、活性半導体層23、データバス(ドレイン電極)24、ソース電極25を含む薄膜トランジスタ(TFT)が形成されている。TFTは平坦化機能を有する絶縁保護膜26で覆われる。絶縁保護膜を貫通するコンタクトホール27を介して反射電極28が形成されている。前面側基板5上にはブラックマトリクスBMが形成され、開口率71%の窓を画定している。

【0164】図16(B)、16(C)は、 $\lambda/2$ 板の光軸が偏光板透過軸となす角度を13度とし、 $\lambda/4$ 板が最適角度である70度からプラス方向およびマイナス方向にずれた場合、液晶の配向方向が与える影響がどのようなものであるかを調べたグラフである。図中横軸は液晶層の配向方向 Q_{LC} を偏光板透過軸に対する相対角度で示し、縦軸は黒輝度を任意単位で示す。黒輝度が低い値程良好な黒表示が得られる。

【0165】図16は、 $\lambda/2$ 板が偏光板透過軸となす角度を13度に設定し、 $\lambda/4$ 板の角度 θ_2 を最適角度70度よりも2度多い $\theta_2=72^\circ$ および1度高い $\theta_2=71^\circ$ に設定した場合を示す。

【0166】図16(C)は、最適角度70度より2度低い $\theta_2=68^\circ$ と1度低い $\theta_2=69^\circ$ に設定した場合を示す。曲線R+2は $\theta_2=72^\circ$ の場合、曲線R+1は $\theta_2=71^\circ$ の場合、液晶の配向方向により得られる黒輝度の変化を示す。曲線R-2は $\theta_2=68^\circ$ の場合、曲線R-1は $\theta_2=69^\circ$ の場合、液晶の配向方向の変化によって得られる黒輝度の変化を示す。

【0167】曲線R+2、R+1は、共に液晶層の配向方向 $\theta_{lc}=20^\circ$ で最小値を示している。 θ_2 の角度ずれの大きさによって振幅は変化するが最小値は同一の角度で生じた。

【0168】曲線R-2、R-1は、液晶層の配向方向 $\theta_{lc}=110^\circ$ で黒輝度の最小値を生じた。プラスの角度ずれの場合と同様、角度ずれの大きさを変えても最小値の生じる位置は変化しなかった。このことから、 $2\theta_1$ と θ_2 との差である $\Delta\theta$ が最適値 44° よりも大きな場合は、液晶層の配向方向 θ_{lc} を 20° に設定することが好ましく、 $\Delta\theta$ が 44° より小さな場合には、 θ_{lc} を 110° に設定することが好ましいことが分かる。なお、液晶セルはわずかにチルトした垂直配向の液晶層を有する。

【0169】この効果を検証するため、従来技術に従い、角度ずれを生じたときにどのような影響が出るかをシミュレーションおよび実測により確認した。

【0170】図17(A)、17(B)は、偏光板、 $\lambda/2$ 板、 $\lambda/4$ 板の設定角度に角度ずれが生じた時の影響を示すグラフである。図17(A)は、計算によるシミュレーション値であり、図17(B)は、フィルムずれを生じた時の実測による黒輝度(反射率)である。

【0171】図17(A)において、偏光板1の背面に2枚の $\lambda/4$ 板で形成された $\lambda/2$ 板2が配置され、その背面側に $\lambda/4$ 板3が配置され、楔プリズムWPを介して液晶セル4が配置されている。液晶セル4の背面側基板には反射面が形成され、液晶層は垂直配向である。

【0172】図において、横軸は $\lambda/4$ 板の偏光子透過軸に対する角度 θ_2 を単位「度」で示し、縦軸は黒輝度のY値を単位 $10^{-4}\%$ で示す。曲線Y1は、 $\lambda/2$ 板の偏光子透過軸に対する角度を13度に固定した場合を示し、曲線Y2は偏光子透過軸に対する $\lambda/4$ 板の光軸角度 θ_2 の変動に対し、 $\lambda/2$ 板の光軸の偏光子透過軸に対する角度 θ_1 が $\theta_2=2\theta_1+44^\circ$ の関係を満たすように選択した場合の特性を示す。

【0173】図から明らかなように、 θ_1 を固定し、 θ_2 を変化させると θ_2 が最適値70度から離れるに従い、Y値は大きく増加する。これに対し、曲線Y2が示すよ

うに、 $\theta_2=2\theta_1+44^\circ$ の関係を満たすように、 θ_1 、 θ_2 の角度を選択すると、 θ_2 が最適値70度から離れてもY値はほとんど上昇しない。

【0174】図17(B)は、図17(A)に相当する特性を実際に測定した結果を示す。横軸は $\lambda/4$ 板の光軸角度 θ_2 を単位「度」で示し、縦軸は反射率Rを%で示す。曲線R1は、 θ_1 を13度に固定し、 θ_2 を変化させた場合の特性を示し、曲線R2は、 θ_2 の角度の変化に対応し、 θ_1 を変化させ、 $\theta_2=2\theta_1+44^\circ$ の関係を満足するようにした場合を示す。測定の結果は、シミュレーションの結果を確認している。

【0175】図17(A)、17(B)に示す結果から、 $\lambda/2$ 板の光軸角度および $\lambda/4$ の光軸角度を最適角度に設定しても、製造プロセスのマージンにより角度ずれが生じると、思わぬ黒レベルの上昇を招いてしまうことが分かる。角度ずれによる黒輝度の上昇はわずかな角度ずれであっても、大きな黒輝度の上昇を生じる。例えば、 $\lambda/4$ の角度が最適値から1度ずれることにより、反射率または黒輝度は2倍以上に上昇することが図17(A)、17(B)の結果から観察される。

【0176】 $\lambda/2$ 板の角度は $\lambda/4$ 板の角度の2倍の影響を有すると考えられる。従って、 $\lambda/2$ 板の角度が1度ずれれば、反射率または黒輝度は数倍以上にもなるであろう。このことは、コントラストが大幅に低下してしまうことを意味する。

【0177】図16の特性は、 $\lambda/2$ 板の角度に対する $\lambda/4$ 板の角度が最適値からずれても液晶層の配向を調整することにより、黒輝度の上昇を抑えることができることを示している。黒輝度上昇を抑える機能を有する液晶の配向方向は、 $\lambda/4$ 板の光学角度が小さい場合と大きい場合とで90度異なる。そこで、角度ずれが生じて $\lambda/4$ 板の角度が最適値から所定極性方向にのみずれるようにすれば、適性な補正を行なうことができるであろう。

【0178】図18(A)、18(B)は、 $\theta_2-2\theta_1$ の値を意図的に最適の 44° よりも大きくし、液晶層で補正を行なった場合および、 $\theta_2-2\theta_1$ を意図的に 44° よりも小さく設定し、液晶層で補正を行なった場合のシミュレーション結果を示す。

【0179】図18(A)においては、 $\theta_2-2\theta_1$ が 44° よりも大きくなるように3種類の設定を行なった。曲線Y3は、 θ_2 を72度に設定した場合を示す。 θ_1 は最適の13度である。曲線Y4は、 θ_1 を最適の13度よりも小さく、 12° に設定し、 θ_2 は最適の70度に設定した場合を示す。曲線Y3、Y4は、共に $\theta_2-2\theta_1$ の値としては 46° である。曲線Y5は、 θ_1 は最適の13度に保ち、 θ_2 を71度に設定した場合を示す。 $\theta_2-2\theta_1$ の値は 45° である。図16に示すシミュレーション結果に基づき、 $\theta_2-2\theta_1$ が 44° よりも大きい場合の補正角として適正な液晶の配向方向を約20度に

設定した。

【0180】図18(A)において、横軸は液晶層に対する印加電圧をVで示し、縦軸は黒輝度またはY値を 10^{-2} %の単位で示す。

【0181】図から明らかなように、液晶層への印加電圧が1.5Vでは、Y値は曲線Y3、Y4に対しては約20もあり、曲線Y5に対しても約7である。印加電圧を増大していくと、Y値は徐々に減少し、印加電圧が約2Vを超える範囲でY値は急激に減少している。曲線Y3、Y4、Y5共に、適正な印加電圧を与えることにより、 2×10^{-2} 以下のY値が得られている。

【0182】図18(B)は、 $\lambda/2$ 板の角度 θ_1 、 $\lambda/4$ 板の角度 θ_2 を意図的に $\theta_2 - 2\theta_1 = 44^\circ$ よりも小さくなるように選択した場合を示す。図中、横軸は図18(A)と同様、印加電圧をVで示し、縦軸はY値を 10^{-2} %で示す。

【0183】曲線Y6は、 θ_1 を13度に保ったまま、 θ_2 を68°に設定した場合を示す。曲線Y7は、 θ_1 を14°に設定し、 θ_2 は70度に保った場合を示す。曲線Y6、Y7は共に $\theta_2 - 2\theta_1$ の値としては42°である。曲線Y8は、 θ_2 を69度に設定し、 $\theta_2 - 2\theta_1$ の値を43°にした場合を示す。液晶層の配向方向は、図16に示されるシミュレーション結果に従い、約110度に設定した。

【0184】図から明らかなように、印加電圧が1.5Vと低いときには、曲線Y6、Y7、Y8は共に比較的大きな値を示し、印加電圧が増大するに従い、Y値は徐々に減少する。印加電圧を約2Vより増大させると、Y値は減少を強め、 2×10^{-2} %以下の値を実現している。

【0185】図18(A)、18(B)に示す結果から、意図的に $\theta_2 - 2\theta_1$ を最適値から一方の極性にずらしても、液晶層で補正を行えば、低いY値を得ることができよう。

【0186】図19(A)、19(B)は、図18(A)、18(B)のシミュレーション結果を実測によって確認した結果を示す。図19(A)においては、偏光板透過軸に対する $\lambda/2$ 板の角度 θ_1 を最適の13°に設定し、 $\lambda/4$ 板の角度 θ_2 を71°に設定し、 $\theta_2 - 2\theta_1 = 45^\circ$ とした場合である。 $\theta_2 - 2\theta_1$ が44°よりも大きいため、補正を行なうための液晶の配向方向は20°とした。念のため、液晶の配向方向を110°に設定した場合も測定した。これらの条件のもとで、液晶層に電圧を印加しない場合と2.5Vの電圧を印加した場合とを測定した。

【0187】図19(A)において、横軸は入射光の波長を単位nmで示し、縦軸は黒反射率を%で示す。曲線R3は、液晶層に電圧を印加しない場合を示す。この場合、液晶は垂直配向しており、配向方向は結果に影響を与えない。曲線R4は、液晶層の配向方向が20°の場合に液晶層に2.5Vの電圧を印加した場合を示す。適

正な配向方向で適正な電圧を印加することにより、対象とする緑色波長領域において、曲線R3と比較し充分低減した反射率R4が得られている。

【0188】液晶の配向方向を110度とした場合、対象とする緑色波長領域において反射率R5は電圧を印加しない場合の反射率R3よりも増大し、コントラストが低下することを示している。

【0189】図19(B)は、 $\theta_2 - 2\theta_1$ を44°よりも小さい値に設定した場合を示す。 $\theta_1 = 13^\circ$ 、 $\theta_2 = 69^\circ$ 、 $\theta_2 - 2\theta_1 = 45^\circ$ とした。図中横軸と縦軸は、図19(A)と同様である。

【0190】曲線R6は、液晶層に電圧を印加しない場合の測定値であり、曲線R7は液晶の配向方向を110度とし、液晶層に2.5Vの電圧を印加した場合の測定結果を示す。曲線R8は、液晶の配向方向を20度に設定し、液晶層に2.5Vの電圧を印加した場合を示す。

【0191】緑色波長領域において、液晶層の配向方向を適切な方向に選択した曲線R7は、電圧を印加しない場合の反射率R6よりも低くなり、高いコントラストを実現している。これに対し、液晶の配向方向を不適切な方向に選択した曲線R8は、電圧を印加しない場合の反射率R6よりも2倍程度も大きな反射率となっている。

【0192】これらの実測結果から、図16で予想されたように、 $\theta_2 - 2\theta_1$ が44度よりも大きな場合には、液晶の配向方向を20°に選択し、適切な電圧を印加することにより、黒レベルを低くすることができると判る。逆に、 $\theta_2 - 2\theta_1$ が44°よりも小さい場合には、液晶の配向方向を110度に設定し、適切な電圧を印加することにより黒レベルを低く補正できることが分かる。

【0193】図20は、試作パネルの白反射率および黒反射率を示すグラフである。図中横軸は光の波長を単位nmで示し、縦軸は白反射率および黒反射率を%で示す。青色領域として有効な波長領域をBを付したハッチング領域で示し、緑色領域として有効な波長領域をGを付したハッチング領域で示し、赤色領域として有効な波長領域をRを付したハッチング領域で示す。また、それぞれの液晶セルにおいて、200以上のコントラストが得られる領域をバーで示す。なお、試作パネルの条件は以下の通りである。

【0194】青色パネル

液晶材料 LC:MF-7024 (メルク社製)

セル厚 d : 2 μ m

液晶配向軸 (偏光板透過軸基準) : 110°

位相差板のリターデーション R: 155 nm \times 3枚
(2枚: 12.5°、1枚: 68.5°)

【0195】緑色パネル

液晶材料 LC:MF-7024 (メルク社製)

セル厚 d : 2 μ m

液晶配向軸 (偏光板透過軸基準) : 110°

位相差板のリターデーション $R: 140 \text{ nm} \times 3 \text{ 枚}$
(2枚: 13° 、1枚: 69.5°)

【0196】赤色パネル

液晶材料 LC: MF-7024 (メルク社製)

セル厚 $d: 2 \mu\text{m}$

液晶配向軸 (偏光板透過軸基準): 110°

位相差板のリターデーション $R: 110 \text{ nm} \times 3 \text{ 枚}$
(2枚: 13.5° 、1枚: 70.5°)

【0197】液晶分子が垂直配向している時、入射光が基板に垂直に入射すれば基板面内の方向に対して液晶層の光学的異方性はない。しかしながら、入射光が斜め入射すると、液晶分子が垂直配向していても入射方向に依存した光学的異方性が生じる。すなわち、斜め入射光に対しては、垂直配向した液晶層も斜め配向した液晶層と同等となり、光学異方性を示す。この光学異方性によるリターデーションが黒レベルを持ち上げてしまうことになる。

【0198】図21(A)は、反射型液晶表示装置の1色分の光学系の主要部を示す。クロスダイクロイックプリズムCDCの前面に楔プリズムWPが貼りつけられており、入射光は楔プリズムWPの頂角と反対側(図中下側)から入射する。クロスダイクロイックプリズムCVCの出射面には、偏光板1、 $\lambda/4$ 板等の位相差板3、1対の基板5、6間に液晶層7を挟んだ液晶パネル4が積層配置されている。なお、図の構成においては背面側基板6の裏面に反射面8が設けられている。

【0199】入射光は、楔プリズムWPで屈折した後、クロスダイクロイックプリズム(CDC)を斜め下方から斜め上方に向かって進行し、液晶層7に斜めに入射する。従って、液晶層7が垂直配向している時も入射光に対して液晶層7がリターデーションを生じさせる。

【0200】図21(B)は、斜め入射光に対する液晶層の発生するリターデーションを概略的に示す斜視図である。液晶層7に対し、斜めに入射する入射光Lは、液晶分子を斜め方向に横切ることになり、液晶分子の光学異方性を感じる。従って、入射光Lを基板法線方向に沿って射影した方向にリターデーションが発生する。このリターデーションを相殺するためには、液晶のリターデーションと直交する方向にリターデーション材を配置すれば良い。このようなリターデーション材は、液晶層7の配向を調整することにより、または別個のリターデーション材を積層することにより実現することもできる。

【0201】図21(C)は、液晶層7の配向を調整することにより斜め入射光によるリターデーションを相殺する場合を示す。液晶層7中の液晶分子7aを垂直配向の状態から若干配向方向に傾いた状態7bとする。配向方向を入射光の方向Lと直交させることにより、斜め入射により生じるリターデーションを液晶分子の傾きにより相殺することができる。

【0202】図21(D)は、斜め入射によるリターデ

ーションを相殺するため、リターデーション板11を用い、遅相軸を入射光Lの方向と直交させて配置した場合を示す。リターデーション値を選択することにより、斜め入射によるリターデーションを相殺することが可能となる。

【0203】上述の動作をシミュレーションによって確認した。

【0204】図22(A)、22(B)は、シミュレーション結果を示すグラフである。

【0205】図22(A)は、液晶層が垂直配向しているとき、その液晶層に対し、斜め方向から光を入射し、液晶セルに印加する電圧を操作した時の印加電圧に対する反射率R20の変化をシミュレートした結果を示す。印加電圧が低い間は、液晶層は垂直配向しており、反射率R20はほぼ0である。印加電圧を増大し、液晶層が垂直配向からホモジニアス配向に変化し始めると、反射率R20は増大し、やがて最大値を取る。図の構成においては、印加電圧がさらに増大すると、反射率R20は再び低下している。これは、ホモジニアス配向した液晶層が位相差板の位相差と合わせ、再び $\lambda/4$ 板的に機能するためと考えられる。

【0206】図22(A)の反射率カーブR20は、低電圧領域ではほぼ0のように見える。しかしながら、この領域においても反射率は完全に0ではない。

【0207】図22(B)は、低反射率領域を拡大したグラフである。なお、液晶層の配向方向は、入射光の進行方向に対して直角となるように設定した。

【0208】反射率R21は、無電界の状態から低印加電圧の領域においてほぼ0.001の反射率を示している。しかしながら、印加電圧が約1.5Vを越えると、反射率R21は低下し始め、印加電圧が約2.1V付近で約0.0002以下の低い反射率を示している。

【0209】すなわち、印加電圧が閾値を若干越えた領域において、液晶分子が垂直配向から倒れ始め、この配向変化に伴うリターデーションが斜め入射によるリターデーションを相殺しているものと考えられる。

【0210】図23(A)、23(B)は、上述の機構を実際の反射型液晶表示装置で実現する構成例を示す。

【0211】図23(A)に示すように、偏光板1の背面側に $\lambda/4$ 板等の位相差板3が配置され、さらにその背面側に1対の基板5、6間に教示された液晶層7を有する液晶パネル4が配置される。この構成例においては、背面側基板6の内側表面上に反射面8が設けられている。

【0212】液晶層7は、例えば垂直配向するメルク社MF-7024を用い、 $4 \mu\text{m}$ の厚さに設定する。基板5、6表面に配向処理を行ない、液晶層が垂直配向から倒れる方向を規定する。すなわち、図示の状態において、光Lは斜め方向下方から液晶層7に入射し、斜め方向上方に出射するように設定されている。液晶層7は、

10

20

30

40

50

紙面垂直方向に倒れるように配向される。

【0213】図23(B)は、図23(A)の主要構成要素の方位関係を概略的に示す線図である。入射光L、液晶層7の液晶分子の配向は、基板表面に射影した状態で示す。入射光の方向L、 $\lambda/4$ 板の遅相軸3、液晶層の配向方向7、偏光板の偏光軸の方向1を重ねて示す。図に示すように、液晶層7の配向方向は、光Lの進行方向と直交するように設定され、そのリターデーションが等しい値になるように設定される。なお、液晶のリターデーションは、印加電圧により調整することができるため、斜め入射により発生するリターデーションと等しくなるような電圧を選択すれば良い。

【0214】図24は、図23(A)の構成を用い、反射率を測定した結果を示す。図中横軸は入射光の波長をnmで示し、縦軸は反射率を任意単位で示す。曲線R22は、液晶層に電圧を印加しない状態の反射率を示す。曲線R23は、液晶層に約2.28Vの電圧を印加した状態の反射率を示す。液晶層に電圧を印加した時の反射率R23は、明らかに電圧を印加しない時の反射率R22よりも低下している。特に、波長400nmから550nmの波長領域において反射率の低下が著しい。

【0215】液晶層に印加する電圧を変化させ反射率を測定し、最適の電圧を選択することが望ましい。実際上は、最適の電圧から0.1Vの範囲内、より好ましくは±0.05Vの範囲内の電圧が印加されるようにすることが望ましい。

【0216】図25は、弱いリターデーションを有する膜によって斜め入射光によるリターデーションを補償する場合を示す。

【0217】図25(A)に示すように、液晶パネル構成は、偏光板1の背面側に弱いリターデーションを有するリターデーション板11を配置し、その背面側に $\lambda/4$ 板等の位相差板3を設け、その背面側に図24(A)同様の液晶パネルを配置する。

【0218】図25(B)は、基板表面上に射影した時の各リターデーションの関係を示す線図である。光Lの進行方向に斜め入射によるリターデーション7が発生する。リターデーション板11は、液晶層7のリターデーションと直交する方向に遅相軸を有するように設定され、リターデーションの大きさは液晶層7のリターデーションと等しい大きさに設定する。

【0219】このような構成とすることにより、液晶層7に電圧を印加しない状態で液晶分子が垂直配向している時、光Lが斜め入射することによって生じるリターデーションは、リターデーション板11のリターデーションにより相殺される。

【0220】外光を照明光として利用する直視型の反射型液晶表示装置においては、コントラストよりも明るさが重要である。すなわち、最小反射率よりも最大反射率が高くなることが望まれる。

【0221】また、直視型の液晶表示装置は、1枚パネル構成であり、カラー表示の場合は液晶パネル中にカラーフィルタを内蔵させてカラー表示を実現する。反射型液晶表示装置においては、偏光板と液晶パネルとの間に少なくとも1枚の $\lambda/4$ 位相差板を用いるが、位相差板を色毎に異なるものとするのは困難である。従って、1枚の位相差板で3色に対応させなければならない。

【0222】可視光領域の中心波長は、ほぼ550nmと考えることができる。この中心波長550nmに対し、 $\lambda/2$ となる光路長は約0.27 μ mであり、 $\lambda/4$ となる光路長は約0.14 μ mである。位相差板としては、0.1 μ mから0.3 μ mの範囲の位相差を示すものを用いる。好ましくは位相差が0.25 μ mから0.29 μ mおよび0.13 μ mから0.15 μ mの位相差板を用いる。これらの値のリターデーションを有する位相差板を、以下 $\lambda/2$ 板、 $\lambda/4$ 板と呼ぶ。

【0223】位相差板の波長分散を考慮し、偏光板と液晶パネルとの間に $\lambda/4$ 板を1枚用いた構成、 $\lambda/2$ 板と、 $\lambda/4$ 板をそれぞれ1枚用いた位相差板2枚の構成、 $\lambda/2$ 板1枚と、2枚の $\lambda/4$ 板を用いた位相差板3枚の構成、 $\lambda/2$ 板1枚と、 $\lambda/4$ 板3枚を用いた位相差板4枚の構成を用い、偏光板の偏光軸方向、位相差板の遅相軸方向、液晶層の厚さ、液晶層のツイスト角を種々に変更し、最大の反射率が得られる構成をシミュレーションにより求めた。

【0224】図26は、セル厚に対する最大反射率が得られるツイスト角を示すグラフである。横軸はセル厚を μ mで示し、縦軸はツイスト角を度で示す。なお、位相差板の構成としては上述の1枚、2枚、3枚、4枚の構成を考察した。

【0225】位相差板を1枚用いる構成においては、位相差板の遅相軸の角度は、偏光軸に対し45度に設定した。位相差板2枚の構成においては、 $\lambda/2$ 板の遅相軸の方向を偏光板の偏光軸に対して17.5度に配置し、 $\lambda/4$ 板の遅相軸の角度を80度に設定した。位相差板3枚の構成においては、 $\lambda/2$ 板の遅相軸の角度を107.5度、 $\lambda/4$ 板の遅相軸の角度を105度および150度に設定した。位相差板4枚の構成においては、 $\lambda/2$ 板の遅相軸の角度を110度に設定し、 $\lambda/4$ 板の遅相軸の角度を15度、175度、90度に設定した。

【0226】図26から明らかなように最大反射率が得られるツイスト角は、セル厚依存性を示す。セル厚が約3 μ m～5 μ mの範囲においては、最大反射率が得られるツイスト角は約60度～75度の範囲である。セル厚が約3 μ m以上の領域においては、セル厚が減少すると共に、最大反射率が得られるツイスト角も減少し、セル厚2 μ mにおいては最大反射率の得られるツイスト角はほぼ0となる。

【0227】従来、直視型の反射型液晶表示装置の液晶パネルに用いられているツイスト角は約90度であり、

図26に示す結果は、従来のツイスト角よりも小さなツイスト角の時に最大反射率が得られる可能性を示している。特に、セル厚が約 $3\mu\text{m}$ よりも薄い場合には、ツイスト角は約 60° 以下が好ましい。

【0228】図27は、上述の4種類の構成における色度特性を示す。図中横軸はx座標を示し、縦軸はy座標を示す。図中、D65光源で得られる白点を×印で示す。白点よりも上の方向が緑色に対応し、右下の方向が赤色に対応し、左下の領域が青色に対応する。白抜きの記号が明状態の色度座標を示し、中実の記号が暗状態の色度座標を示す。

【0229】図27から、位相差板の枚数を増やすほど無彩色な表示が得られることが分かる。

【0230】図26、図27を総合すると、位相差板の枚数を増加すれば、良好な表示が得られることになる。しかしながら、生産コスト、製造工程を考慮すると、位相差板の枚数は少ないほど好ましい。最も現実的な構成は、 $\lambda/4$ 板を1枚、 $\lambda/2$ 板を1枚用いる2枚位相差板構成であろう。

【0231】位相差板を2枚($\lambda/2$ 板1枚と $\lambda/4$ 板1枚)用い、液晶層のセル厚を $3\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ に設定し、最大の反射率が得られる位相差板の遅相軸の角度、偏光板の偏光軸の角度、液晶層の配向方向を調べた。 $\lambda/2$ 板のリターデーションは、 270nm に設定し、 $\lambda/4$ 板のリターデーションは 140nm に設定した。シミュレーションの結果、液晶配向方向となす角度は $\lambda/2$ 板の遅相軸の角度 $70^\circ\sim 80^\circ$ 、 $\lambda/4$ 板の遅相軸の角度 $-40^\circ\sim -50^\circ$ 、偏光板の偏光軸の角度 $50^\circ\sim 60^\circ$ が得られた。

【0232】なお、最適条件を取り、偏光板の偏光軸を基準として表現しなおすと、 $\lambda/2$ 板の遅相軸の角度は約 107.5° 、 $\lambda/4$ 板の遅相軸の角度は約 -10° となる。これも等価の方向に変換して表現し直すと、 $\lambda/2$ 板の遅相軸の角度 θ_1 は 17.5° 、 $\lambda/4$ 板の遅相軸の角度 θ_2 は 80° となる。 $\theta_2 = 2\theta_1 + 45^\circ$ の関係となる。

【0233】以下、位相差板2枚($\lambda/2$ 板1枚、 $\lambda/4$ 板1枚)用いる条件で、液晶層の屈折率異方性 Δn の波長依存性と反射率の関係を検討した。用いた液晶層は、波長 550nm において屈折率異方性 Δn が 0.048 、 0.068 、 0.088 、 0.103 、 0.118 の5種類である。さらに、波長 650nm の屈折率異方性 $\Delta n(650)$ に対する波長 450nm での屈折率異方性 $\Delta n(450)$ の比 $\Delta n(450)/\Delta n(650)$ を種々に変更し、得られる最大反射率を調べた。

【0234】図28は、 $\Delta n(450)/\Delta n(650)$ に対する最大反射率Y(%)の関係を示すグラフである。図中横軸は $\Delta n(450)/\Delta n(650)$ を示し、液晶層の屈折率異方性の波長分散を表す。縦軸の反射率Yは、最大反射率が得られた時の値である。

【0235】図28に示すシミュレーション結果から、波長 550nm の屈折率異方性 $\Delta n(550)$ は、約 $0.065\sim 0.070$ 程度が好ましいであろう。この時、液晶層の波長分散はあまり問題とならない。波長 550nm の屈折率異方性 $\Delta n(550)$ が約 0.1 より大きい場合、液晶層の波長分散が大きくなると、得られる最大反射率が低下する傾向が見られる。 $\Delta n(550)$ が約 0.1 以上の液晶層を用いる場合には、波長分散の小さな材料を用いることが望ましいであろう。

【0236】図29(A)は、最大反射率が得られる時のラビング角、ねじれ角の波長分散依存性を調べた結果を示す。横軸は、 $\Delta n(450)/\Delta n(650)$ の波長分散を示し、縦軸はねじれ角またはラビング角を度で示す。本図に示した結果において特徴的なことは、ほぼ全特性が横軸に平行なことである。すなわち、最大反射率が得られるときのねじれ角およびラビング角は、 $\Delta n(550)$ に依存するが、波長分散はほとんど依存しない。

【0237】図29(B)は、最大反射率の $\Delta n(550)$ 依存性を示すグラフである。横軸が $\Delta n(550)$ を示し、縦軸が得られる最大反射率(Y)を%で示す。この図は、図29(A)のデータを組替えたものと考えることができる。

【0238】図から明らかなように、波長 550nm での屈折率異方性 $\Delta n(550)$ が約 0.1 以下であれば、高い反射率が得られ、明るい表示が実現できることが分かる。

【0239】さらに、位相差板のリターデーションの波長依存性と、色度特性について検討した。 $\lambda/2$ 板および $\lambda/4$ 板の波長 550nm でのリターデーションをそれぞれ 270nm および 140nm に設定し、波長 450nm と波長 650nm でのリターデーション比を α とし、 α を変化させた場合の反射率および色度特性を調べた。

【0240】図30は、位相差板のリターデーション比 α に対する最適暗状態のY値を示す。横軸が $\lambda/4$ 板のリターデーション比 $\alpha(\lambda/4)$ を示し、縦軸が最適暗状態のYを%で示す。なお、サンプルとして $\lambda/2$ 板のリターデーション比 α が 1 、 1.02 、 1.05 、 1.07 、 1.1 、 1.12 、 1.15 、 1.17 、 1.2 のものを組み合わせた。

【0241】図から明らかなように、 $\lambda/4$ 板および $\lambda/2$ 板のリターデーション比が 1 に近いほど(リターデーション比が小さいほど)Y値が小さくなり、良好な黒表示が得られることが分かる。

【0242】図31は、位相差板のリターデーション比をパラメータとして示す色度座標のグラフである。横軸がx座標を示し、縦軸がy座標を示す。 $\lambda/4$ 板のリターデーション比は、右から左に向かうにしたがって大きくなる。 $\lambda/2$ 板のリターデーション比は、上方から下

方に向かうにしたがって大きくなる。これらの結果から、波長分散が小さいほど暗状態の無彩色化が実現され、波長分散が大きくなるほど青色になることが分かる。

【0243】図30、図31の結果から、位相差板のリターデーションの波長依存性は小さいほど良いことが分かる。

【0244】直視型の反射型液晶表示装置においては、入射光の入射方向にかかわらず、明るい表示が観察者に観察できることが望ましい。

【0245】図32は、簡単化した液晶パネルにおける散乱角の影響を検討するための模式図である。

【0246】図に示すように、液晶パネルは1対の基板*

$$\delta = 2 \tan^{-1} \left[d_{lc} \cdot \tan \left\{ \sin^{-1} \left(\sin \theta_v / n_{lc} \right) \right\} + d_{cl} \cdot \tan \left\{ \sin^{-1} \left(\sin \theta_v / n_{cl} \right) \right\} + d_{ss} \cdot \tan \left\{ \sin^{-1} \left(\sin \theta_v / n_{ss} \right) \right\} \right] \quad (1)$$

なお、 d_{lc} ：液晶層の厚さ、 d_{cl} ：透明基板の厚さ、 d_{ss} ：光散乱層の厚さ、 L ：反射型液晶表示装置と観察者の距離、 n_{lc} ：液晶層の屈折率、 n_{cl} ：透明基板の屈折率、 n_{ss} ：光散乱層の屈折率とする。

【0250】 δ が目の分解能 δ_{eye} よりも小さければ、※

$$\theta_v = \sin^{-1} \left[n \cdot \sin \left\{ \tan^{-1} \left(L / \{ d_{lc} + d_{cl} + d_{ss} \} \cdot \tan \{ \delta_{eye} / 2 \} \right) \right\} \right] \quad (2)$$

ここで、簡単化のため、透明基板、散乱板、液晶層の屈折率を全て屈折率 n とした。典型的な例として δ_{eye} 、 d_{lc} 、 d_{cl} 、 d_{ss} 、 L および n をそれぞれ1/60度、 $4 \mu m$ 、 $0.7 mm$ 、 $100 \mu m$ 、 $40 cm$ および1.5とすると、(2)式より θ_v は8度以上で画像のボケが発生することになる。この角度は、基板厚および屈折率などにより若干変化する。この事情を考慮すると、散乱特性の半値幅が10度以下である散乱板を用いることにより、画像ボケのない高画質な反射型液晶表示装置が得られることになろう。

【0252】また、透明基板と液晶層の間、反射面のいずれかに光散乱層を配置することにより、画像ボケのない高画質な反射型液晶表示装置が得られる。この場合は、散乱幅を大きくしても画像のボケは発生しない。

【0253】光散乱層の代わりに反射面に光を拡散させる凹凸形状を設けることもできる。この場合は、反射面と光散乱層が同一の層で構成されたと考えられる。この場合も、散乱幅を大きくしても画像のボケは発生しない。

【0254】図33(A)は、直視型の反射型液晶表示装置の基本構成を示す。偏光板1の背面側に2枚以上の位相差板2、3a、～3iが配置され、位相差板の背面側に1対の基板5、6の間に液晶層7を挟持する液晶パネルが配置される。背面側基板6の内側表面上には金属等で形成された反射面8が形成されている。

【0255】図33(B)は、位相差板を1枚用いた時の色度座標と、位相差板を2枚用いた時の色度座標を示

* 5、6の間に液晶層7を挟持する。背面側基板6の内側表面上に反射面8が形成され、入射光を反射するものとする。前面側基板5の外側表面上に光散乱層13が配置されているものとする。

【0247】光散乱層13は、厚さ d_{ss} を有し、屈折率 n_{ss} を有する。透明基板5は、厚さ d_{cl} 、屈折率 n_{cl} を有する。液晶層7は、厚さ d_{lc} 、屈折率 n_{lc} を有する。光散乱層13は、散乱幅 θ_v を有するものとする。観察者15の目は、角度 δ のボケを見込むものとする。

【0248】反射型液晶表示装置の法線方向から画像のボケを見込む角度 δ は、以下のように表現できる。

【0249】

【数1】

※ 画像のボケは確認されなくなる。従って、ボケが発生し始める散乱幅は以下ようになる。

【0251】

【数2】

すグラフである。位相差板を1枚用いた時の明状態および暗状態の色度座標と比べ、位相差板を2枚用いた時の明状態および暗状態の色度座標は、白点により近づいた状態となる。特に、暗状態の着色が抑制されている。位相差板を2枚用いることにより、着色を抑制できることが分かる。

【0256】なお、図33(B)のシミュレーションは、 $\lambda/2$ 板のリターデーションを $0.27 \mu m$ 、 $\lambda/4$ 板のリターデーションを $0.14 \mu m$ とし、これら位相差板の遅相軸が液晶配向方向となす角度を72.5度、-45度に設定し、偏光板の透過軸の方向を55度に設定した。

【0257】図34、図35は、図33(A)の構成に加え、さらに光散乱層を用いた場合の構成例を示す。

【0258】図34においては、偏光板1の前面側に光散乱層13が配置されている。上述のように、液晶パネル外に配置される光散乱層13は、散乱幅10度以下を有する。散乱幅を10度以下とすることにより、画像ボケを抑制することができる。

【0259】図35の構成においては、液晶パネル内に光散乱層が配置されている。図示の構成においては、前面側基板5の内側表面上に光散乱層13が配置されている。光散乱層が、反射面に極めて近い位置に配置されているため、本構成の場合には散乱幅を制限する必要は必ずしもない。

【0260】図36は、反射面と散乱面とを兼用する構成を示す。本構成においては、背面側基板6の表面上に

形成される反射面形成用金属層8の表面を、不規則な反射を発生させる凹凸面とした。金属層8は、反射面8および散乱層13として機能する。この場合にも、散乱幅を制限する必要は必ずしもない。

【0261】図37(A)～37(C)は、より具体的な反射型液晶表示装置の構成例を示す。

【0262】図37(A)においては、偏光板1の前面側に光散乱層13が配置されている。また、液晶パネルの前面側基板5の内側表面上には、赤R、緑G、青Bの3色のカラーフィルタ15が形成され、その表面が透明電極16で覆われている。

【0263】図37(B)の構成においては、光散乱層13は、液晶パネルの前面側基板5の表面上に形成されている。この光散乱層13の上に、カラーフィルタ15が形成され、さらにその上に透明電極16が形成されている。

【0264】図37(C)の構成においては、液晶パネルの背面側基板6の表面上に、反射面と散乱面を形成するための金属層8(13)が形成されている。前面側基板5の内側表面上には、カラーフィルタ層15が形成され、その表面を透明電極16が覆っている。

【0265】図37(A)～37(C)の構成において、位相差板は、1枚の $\lambda/2$ 板2と1枚以上の $\lambda/4$ 板3a～3iを含む。位相差板の枚数を増加することにより、より良好な表示を実現することができるが、生産コストは高くなる。

【0266】図37(A)の構成においては、液晶パネル外に光散乱層13が配置されるため、散乱幅は10度以内にすることが望ましい。

【0267】図37(B)、37(C)の構成においては、散乱層は液晶パネル内に配置されているため、散乱幅を特に制限する必要はない。

【0268】以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、液晶パネルの構成としてはアクティブマトリクス型の他、種々の構成をとることができる。その他種々の変更、改良、組み合わせが可能なのは当業者に自明であろう。

【0269】付記

本発明の好ましい形態は以下の通りである。

【0270】(1) 面内の基準方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、前記基準方向に対して第1の角度 θ_1 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第1の位相差板と、前記第1の位相差板の背面側に配置され、前記基準方向に対して第2の角度 θ_2 で配置された遅相軸または進相軸を有し、前記第2の角度 θ_2 が、 $\theta_2 = 2\theta_1 + 45^\circ \pm 3^\circ$ の範囲内であり、約 $\lambda/4 \sim 3\lambda/4$ の位相差を形成する第2の位相差板と、前記第2の位相差板の背面側に配

置され、一对の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記基準方向に対して第3の角度 θ_3 で配置された配向方向を有する反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置。

【0271】(2) 前記第1の角度 θ_1 が $14^\circ \pm 3^\circ$ である項1記載の反射型液晶表示装置。

【0272】(3) 光分離器と赤、緑、青の液晶表示ユニットを有し、各液晶表示ユニットが、面内の基準方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、前記基準方向に対して第1の角度 θ_1 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第1の位相差板と、前記第1の位相差板の背面側に配置され、前記基準方向に対して第2の角度 θ_2 で配置された遅相軸または進相軸を有し、前記第2の角度 θ_2 が、 $\theta_2 = 2\theta_1 + 44^\circ \pm 1^\circ$ の範囲内であり、約 $\lambda/4 \sim 3\lambda/4$ の位相差を形成する第2の位相差板と、前記第2の位相差板の背面側に配置され、一对の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記基準方向に対して第3の角度 θ_3 で配置された配向方向を有する反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置。

【0273】(4) 前記赤の液晶表示ユニットが、頂角 $8^\circ \pm 3^\circ$ の楔形プリズムを含み、前記第1の角度 θ_1 が $13.5^\circ \pm 1^\circ$ の範囲内である項3記載の反射型液晶表示装置。

【0274】(5) 前記緑の液晶表示ユニットが、頂角 $8^\circ \pm 3^\circ$ の楔形プリズムを含み、前記第1の角度 θ_1 が $13^\circ \pm 1^\circ$ の範囲内である項3または4記載の反射型液晶表示装置。

【0275】(6) 前記青の液晶表示ユニットが、頂角 $8^\circ \pm 3^\circ$ の楔形プリズムを含み、前記第1の角度 θ_1 が $12.5^\circ \pm 1^\circ$ の範囲内である項3～5のいずれかに記載の反射型液晶表示装置。

【0276】(7) 前記第2の位相差板の位相差が約 $\lambda/4$ であり、前記液晶層がホモジニアス配向した時に形成する位相差が約 $\lambda/4$ であり、前記第3の角度 θ_3 が前記第2の角度 θ_2 とほぼ一致する項3～6のいずれかに記載の反射型液晶表示装置。

【0277】(8) 前記第2の位相差板の位相差が約 $\lambda/4$ であり、前記液晶層がホモジニアス配向した時に形成する位相差が約 $3\lambda/4$ であり、前記第3の角度 θ_3 が前記第2の角度 θ_2 とほぼ直交する項3～6のいずれかに記載の反射型液晶表示装置。

【0278】(9) 前記第2の位相差板の位相差が $\lambda/4$ からずれており、前記第2の位相差板と前記液晶層とが協同して $\lambda/4$ 板として機能できる項7または8記載

の反射型液晶表示装置。

【0279】(10)前記第1の位相差板が、前記第2の位相差板と特性の等しい2枚の位相差板で形成されている項7または8記載の反射型液晶表示装置。

【0280】(11)前記第2の角度 θ_2 が、 $2\theta_1 + 44^\circ$ より正または負に角度ずれており、前記第3の角度 θ_3 が前記角度ずれによるリターデーション変動を打ち消すことができる方向に選択されている項3に記載の反射型液晶表示装置。

【0281】(12)前記角度ずれが正であり、前記第3の角度 θ_3 が $20^\circ \pm 20^\circ$ の範囲内に選択されている項11記載の反射型液晶表示装置。

【0282】(13)前記角度ずれが負であり、前記第3の角度 θ_3 が $110^\circ \pm 20^\circ$ の範囲内に選択されている項11記載の反射型液晶表示装置。

【0283】(14)面内の基準方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、前記基準方向に対して第1の角度 θ_1 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第1の位相差板と、前記第1の位相差板の背面側に配置され、前記基準方向に対して第2の角度 θ_2 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/4$ の位相差を形成する第2の位相差板と、前記第2の位相差板の背面側に配置され、一對の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記基準方向に対して第3の角度 θ_3 で配置された配向方向を有し、前記液晶層がホモジニアス配向した時に形成する位相差が約 $\lambda/2$ であり、前記第3の角度 θ_3 が、 $\theta_3 = 2\theta_1 + 44^\circ \pm 1^\circ$ の範囲内であり、前記第2の角度 θ_2 とほぼ直交する反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置。

【0284】(15)前記第1および第2の位相差板が、ポリカーボネートまたは／およびポリビニルアルコールで形成されている項1～14のいずれかに記載の反射型液晶表示装置。

【0285】(16)面内の基準方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、前記基準方向に対して第1の角度 θ_1 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第1の位相差板と、前記第1の位相差板の背面側に配置され、一對の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記基準方向に対して第2の角度 θ_2 で配置された配向方向を有し、ホモジニアス配向された時、約 $\lambda/4$ の位相差を形成し、第2の角度 θ_2 が $\theta_2 = 2\theta_1 + 44^\circ \pm 1^\circ$ を満たす液晶セルとを有する反射型液

晶表示装置。

【0286】(17)面内の基準方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、前記基準方向に対して第1の角度 θ_1 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/2$ の位相差を形成する第1の位相差板と、前記第1の位相差板の背面側に配置され、前記基準方向に対して第2の角度 θ_2 で配置された遅相軸または進相軸を有し、約 $\lambda/4$ の位相差を形成する第2の位相差板と、前記第2の位相差板の背面側に配置され、一對の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、前記基準方向に対して第3の角度 θ_3 で配置された配向方向を有し、第3の角度 θ_3 が第1の角度 θ_1 と第2の角度 θ_2 の角度ずれによるリターデーション変動を補償できる角度に選択されている反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置。

【0287】(18)前記第2の角度 θ_2 が、 $2\theta_1 + 44^\circ$ より大きな角度に設定され、前記第3の角度 θ_3 が $20^\circ \pm 20^\circ$ の範囲内に設定されている項17記載の反射型液晶表示装置。

【0288】(19)前記第2の角度 θ_2 が、 $2\theta_1 + 44^\circ$ より小さな角度に設定され、前記第3の角度 θ_3 が $110^\circ \pm 20^\circ$ の範囲内に設定されている項17記載の反射型液晶表示装置。

【0289】(20)一對の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、液晶パネルと、前記液晶パネルに斜め方向から光を入射させる光学系とを有し、前記液晶パネルのホモジニアス配向の配向方向が垂直配向された液晶層に光が斜めに入射することによって生じるリターデーションを相殺できる方向に設定されている反射型液晶表示装置。

【0290】(21)前記光の入射方向と前記配向方向とが、前記基板上に法線方向に沿って射影したとき直交している項20記載の反射型液晶表示装置。

【0291】(22)一對の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が電界の有無でホモジニアス配向と垂直配向を選択的に形成することができ、液晶パネルと、前記液晶パネルに斜め方向から光を入射させる光学系と、前記液晶パネルと前記光学系との間に配置され、前記液晶層が垂直配向された時、入射光が液晶層に斜めに入射することによって生じるリターデーションを相殺できるリターデーションを有する位相差板とを有する反射型液晶表示装置。

【0292】(23)前記光の入射方向と前記位相差板の遅相軸とが、前記基板上に法線方向に沿って射影した時直交している項22記載の反射型液晶表示装置。

【0293】(24)前記位相差板がトリアセチルセル

ロースまたはセルロースアセートブチレートで形成されている項22または23記載の反射型液晶表示装置。

【0294】(25)面内の第1の角度方向に透過軸または吸収軸を有し、前面側から入射する光を所定の直線偏光に変換して背面側に出射することのできる偏光子と、前記偏光子の背面側に配置され、面内の第2の角度方向に配置された遅相軸または進相軸を有し、0.1 μ mから0.3 μ mの範囲内の第1の位相差を形成する第1の位相差板と、前記第1の位相差板の背面側に配置され、面内の第3の角度方向に配置された遅相軸または進相軸を有し、0.1 μ mから0.3 μ mの範囲内の第2の位相差を形成する第2の位相差板と、前記第2の位相差板の背面側に配置され、一対の基板とその間に挟持された液晶層と反射面とを有し、液晶層が無電界の時に0°から80°の範囲内のツイスト角を有し、前記一対の基板の一方が面内の第4の角度方向に配置された配向方向を有する反射型液晶セルとを有する反射型液晶表示装置。

【0295】(26)前記液晶層のツイスト角が60°から75°の範囲内であり、前記第1、第2、第3の角度方向が前記第4の角度方向となす角は、それぞれ50°~60°、70°~80°、-40°~-50°の範囲内であり、前記第1、第2の位相差がそれぞれ0.25 μ m~0.29 μ m、0.13 μ m~0.15 μ mの範囲内である項25記載の反射型液晶表示装置。

【0296】(27)さらに、前記一対の基板より前面側に配置された光散乱層を有し、前記光散乱層の散乱特性の半値幅は10°以内である項25または26記載の反射型液晶表示装置。

【0297】(28)さらに、前記一対の基板の前面側基板と前記反射面との間に配置された光散乱層を有する項25または26記載の反射型液晶表示装置。

【0298】(29)前記反射面が光を拡散させる凹凸面を有する項25または26記載の反射型液晶表示装置。

【0299】(30)さらに、前記一対の基板の前面側基板と前記反射層との間に配置されたカラーフィルタを有する項25~29のいずれかに記載の反射型液晶表示装置。

【0300】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、優れた表示特性を有する反射型液晶表示装置が提供される。

【0301】投射型の反射型液晶表示装置においては、黒表示の反射率を低下させ、コントラストを高く維持することができる。

【0302】直視型の反射型液晶表示装置においては、明るい表示を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例を説明するための液晶表示装置

の分解斜視図、概略側面図、グラフ、線図、および表である。

【図2】投射型液晶表示装置の構成を概略的に示すブロック図、斜視図、表である。

【図3】投射型液晶表示装置の構成を概略的に示す斜視図、上面図、断面図である。

【図4】複数枚の位相差板を用いた時のリターデーションずれの影響を示すグラフ、およびその対策を講じる構成例の概略側面図である。

【図5】従来技術による反射型液晶表示装置の構成および機能を概略的に説明する分解斜視図、グラフである。

【図6】他の従来技術を説明するための概略斜視図およびグラフである。

【図7】従来技術による反射型液晶表示装置の構成を概略的に示す分解側面図である。

【図8】位相差板の材料による波長特性を示すグラフである。

【図9】本発明の実施例による液晶パネルの構成およびその機能を説明するための概略断面図および線図である。

【図10】本発明の実施例による液晶表示装置の構成および機能を概略的に説明するための線図である。

【図11】本発明の実施例による液晶表示装置の構成および機能を概略的に説明するための線図である。

【図12】本発明の実施例による液晶表示装置の構成および機能を概略的に説明するための線図である。

【図13】本発明の実施例による液晶表示装置の構成および機能を概略的に説明するための線図である。

【図14】本発明の実施例による液晶表示装置の構成および機能を概略的に説明するための線図である。

【図15】本発明の実施例による液晶表示装置の構成および機能を概略的に説明するための線図である。

【図16】位相差板の角度ズレが生じた時の液晶層の配向方向が黒輝度に与える影響を示すグラフである。

【図17】位相差板の角度ズレと黒輝度もしくは反射率の関係を示すグラフである。

【図18】位相差板が角度ズレを生じた時の印加電圧に対する黒輝度の関係を示すグラフである。

【図19】位相差板が角度ズレした時の液晶層の印加電圧による修正を示す反射率のスペクトルである。

【図20】試作サンプルの反射率スペクトルを示すグラフである。

【図21】本発明の他の実施例による液晶表示装置の構成を説明するための概略断面図および線図である。

【図22】図21の構成による反射率の印加電圧に対する関係を示すグラフである。

【図23】図21(C)に示す構成を実現した液晶表示装置の構成を示す概略断面図および線図である。

【図24】図23の構成における反射率の例を示すグラフである。

【図25】図21(D)の構成を実現する液晶表示装置の構成を概略的に示す断面図および線図である。

【図26】外光を利用した直視型反射型液晶表示装置における最大反射率が得られるツイスト角とセル厚の関係を示すグラフである。

【図27】図26の構成における色度座標を示すグラフである。

【図28】液晶層の波長分散に対する反射率の関係を示すグラフである。

【図29】液晶層の屈折率異方性と反射率との関係を示すグラフである。

【図30】位相差板の波長分散と暗状態の反射率の関係を示すグラフである。

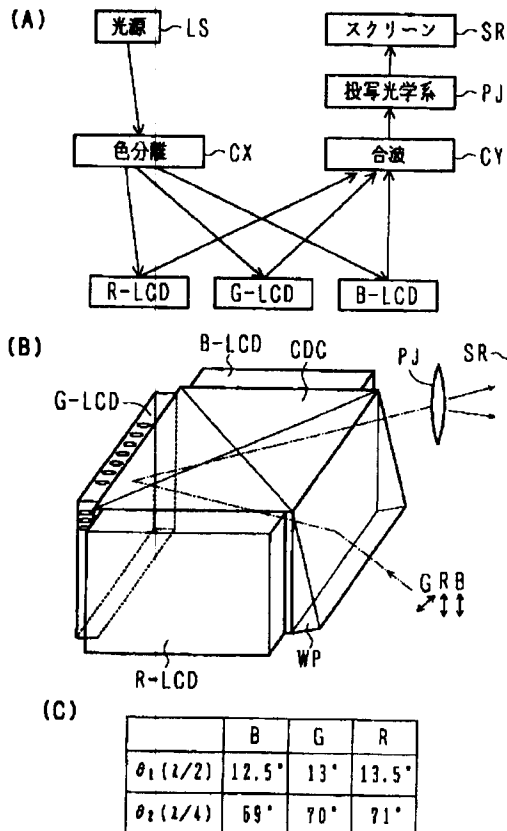
【図31】位相差板の波長分散と暗状態の色度座標を示すグラフである。

【図32】光散乱板を用いた時の画像のボケを解析する線図である。

【図33】反射型液晶表示装置の構成を概略的に示す側面図および色度座標のグラフである。

【図34】光散乱層を備えた反射型液晶表示装置の構成*20

【図2】



*を概略的に示す分解側面図である。

【図35】光散乱層を備えた反射型液晶表示装置の構成を概略的に示す分解側面図である。

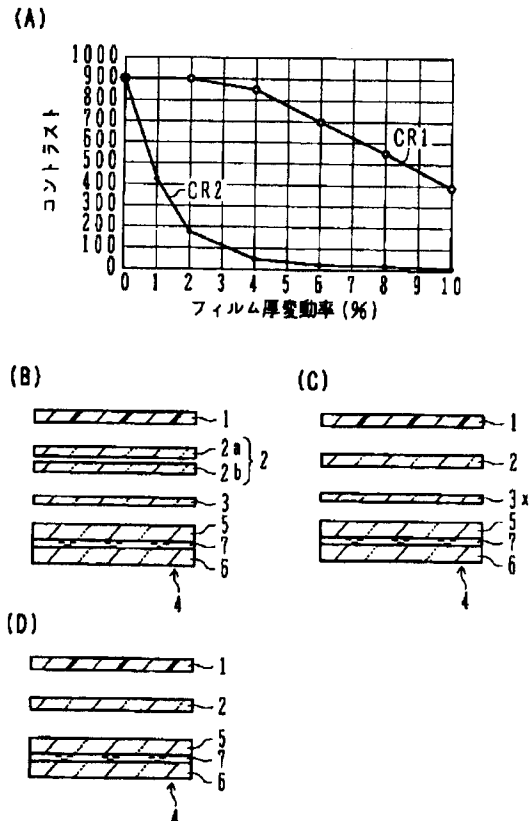
【図36】光反射面が光散乱面を兼用する構成を有する反射型液晶表示装置の分解側面図である。

【図37】反射型液晶表示装置の構成例を示す分解側面図である。

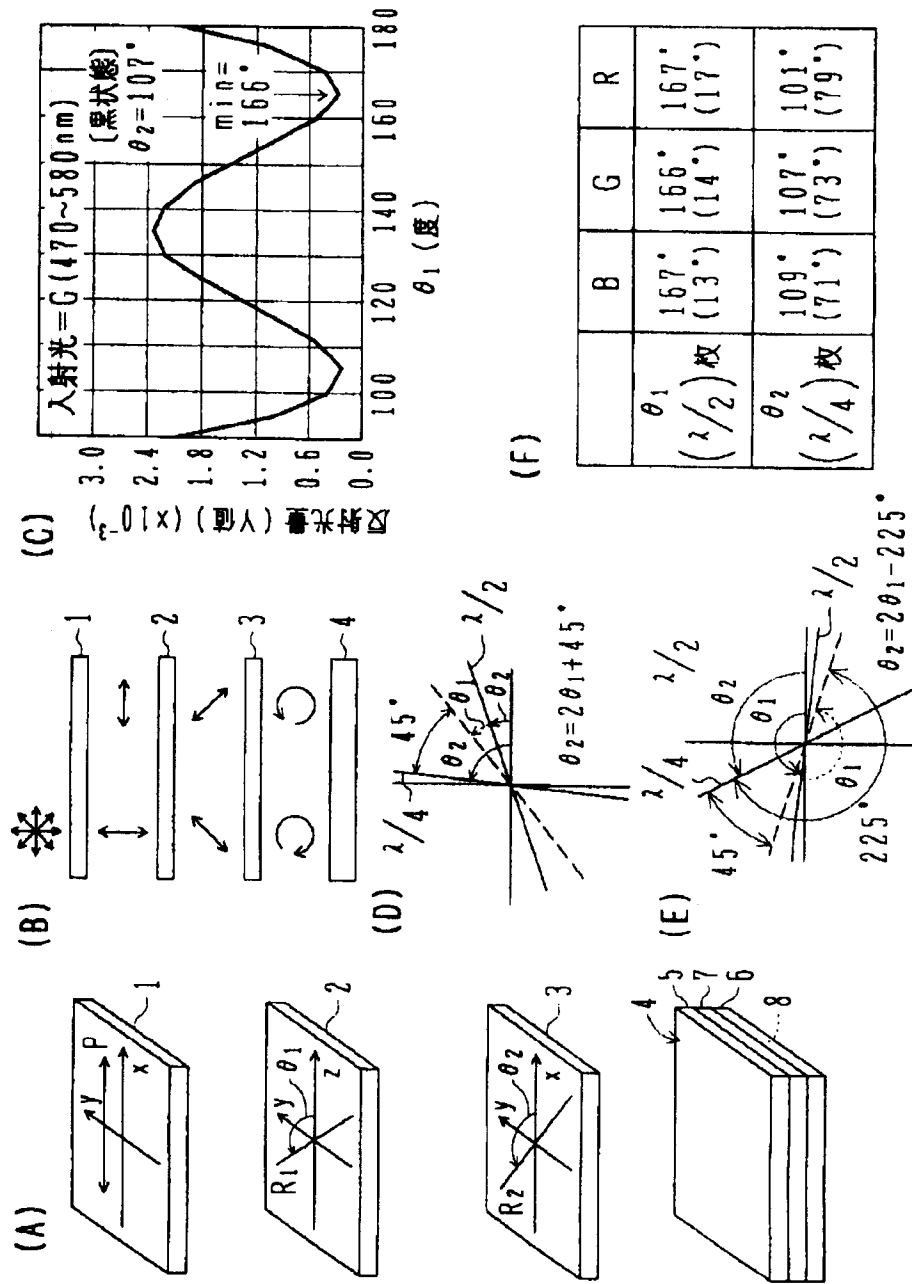
【符号の説明】

- 1 偏光子
- 2 $\lambda/2$ 板
- 3 $\lambda/4$ 板
- 4 液晶パネル
- 5 前面側基板
- 6 背面側基板
- 7 液晶層
- 8 反射面
- θ_1 $\lambda/2$ 板の光学軸の角度
- θ_2 $\lambda/4$ 板の光学軸の角度
- CDC クロスダイクロイックプリズム
- WP 楔プリズム

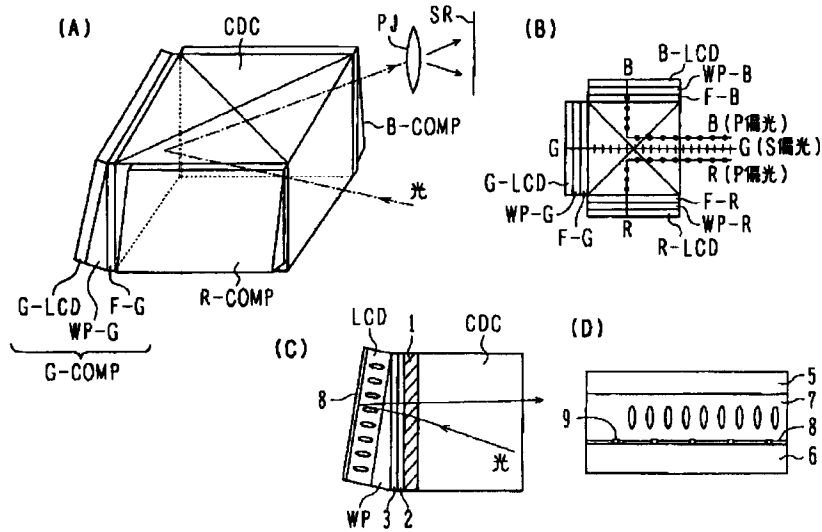
【図4】



【図1】

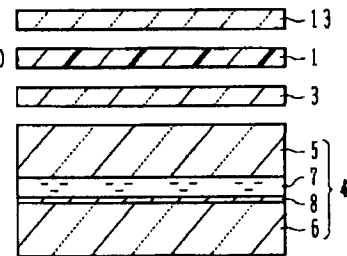


【図3】



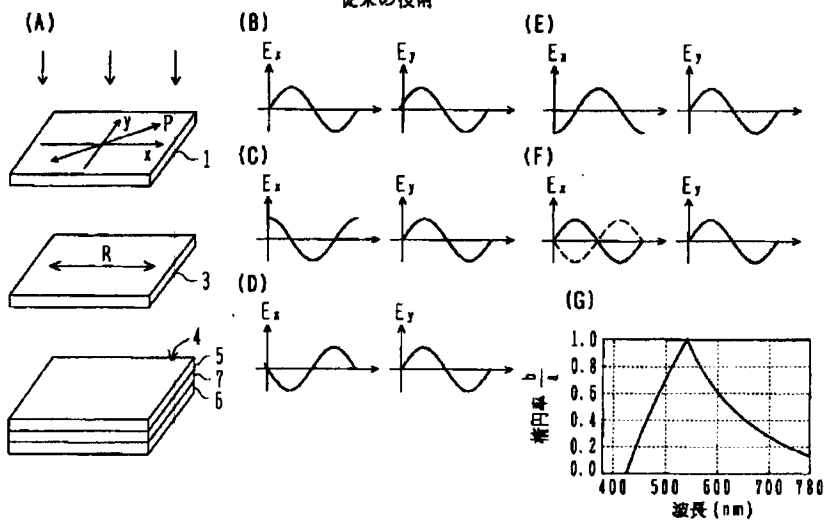
【図7】

従来技術



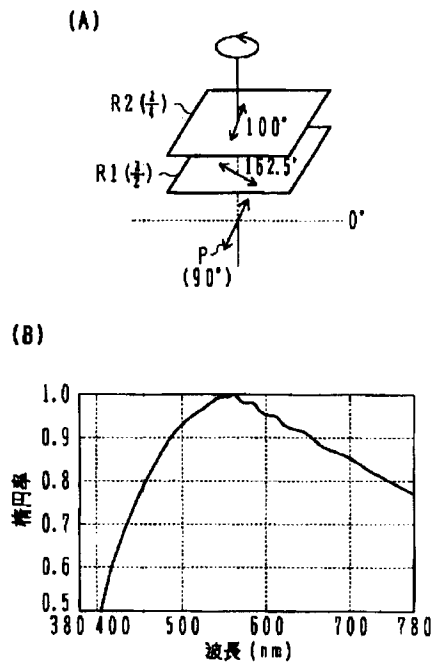
【図5】

従来の技術

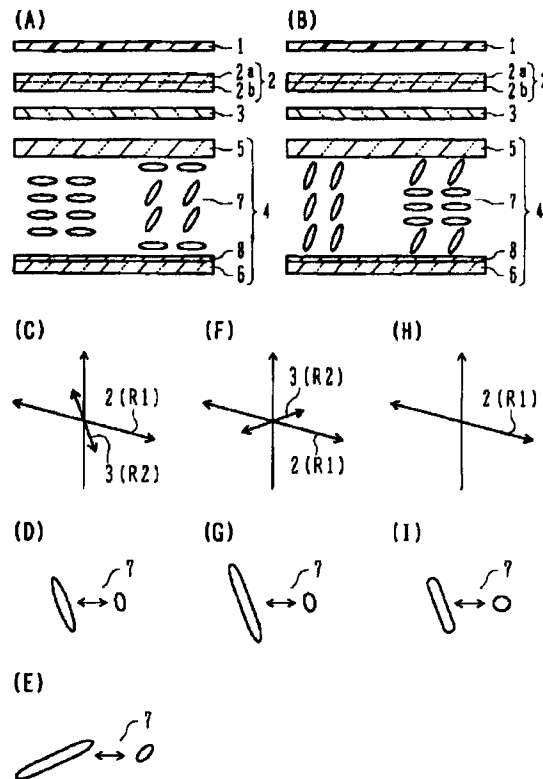


【図6】

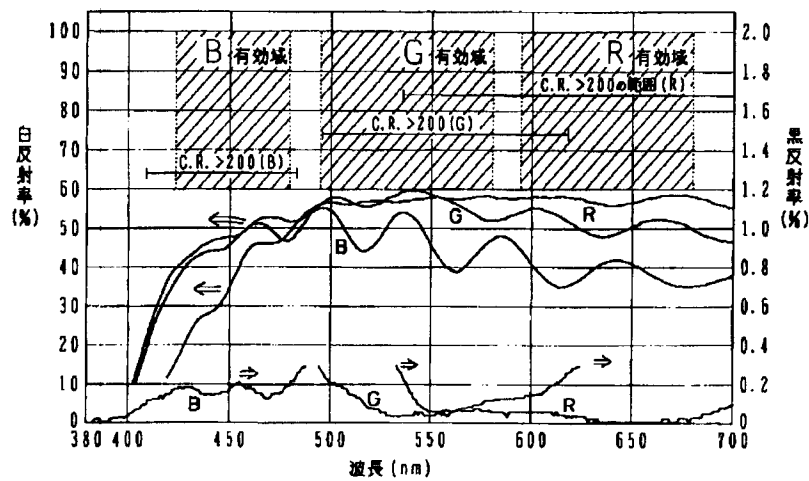
従来の技術



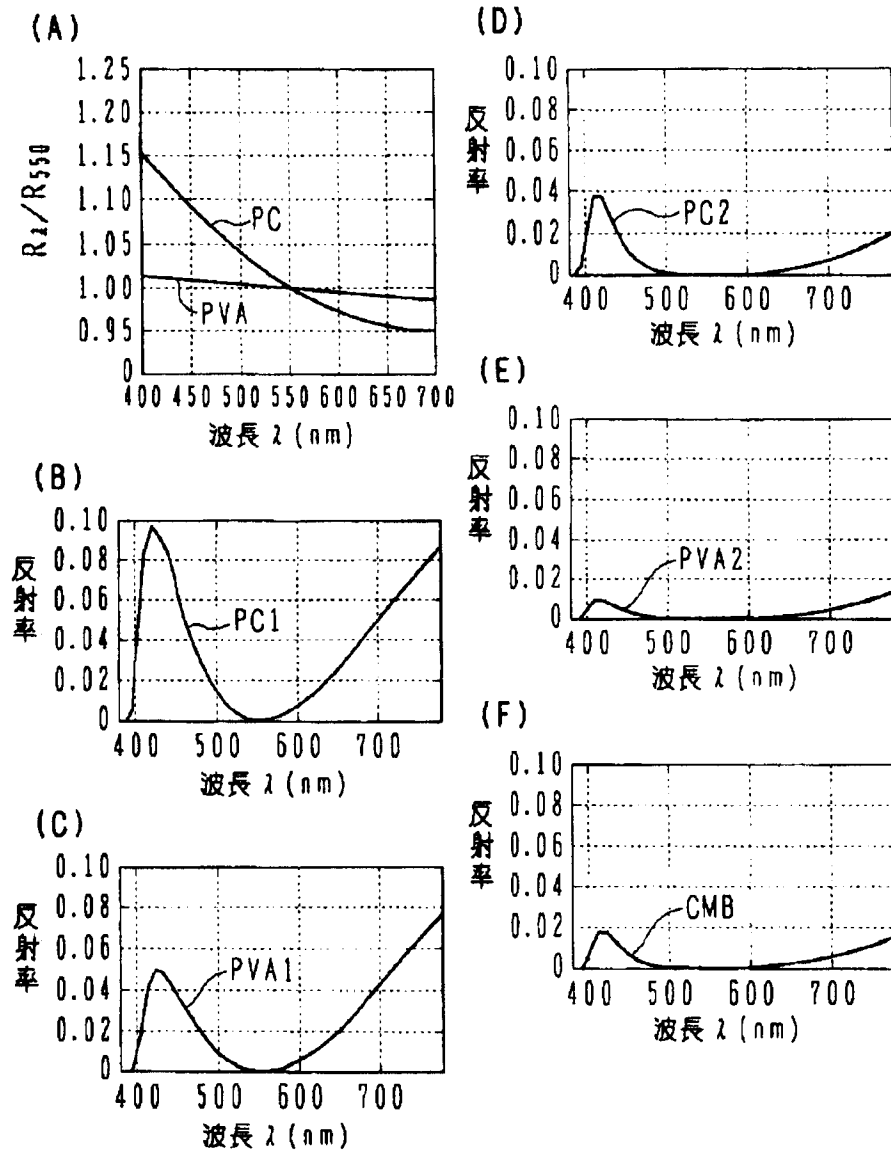
【図9】



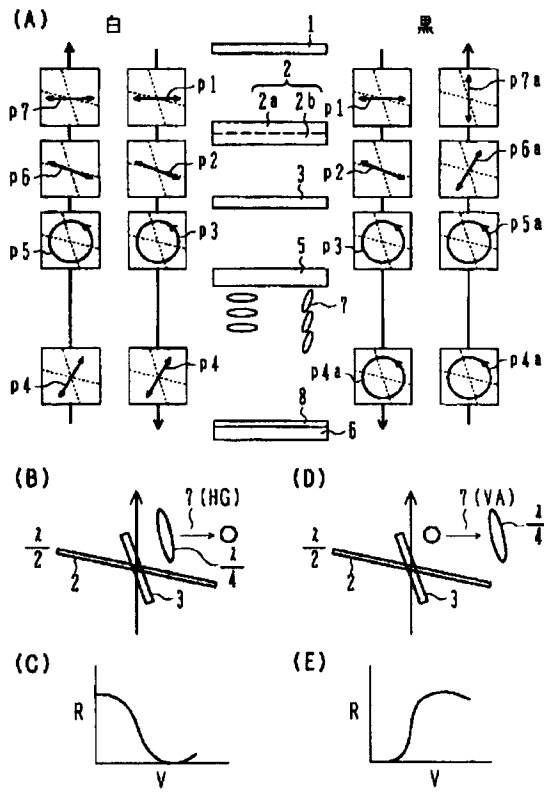
【図20】



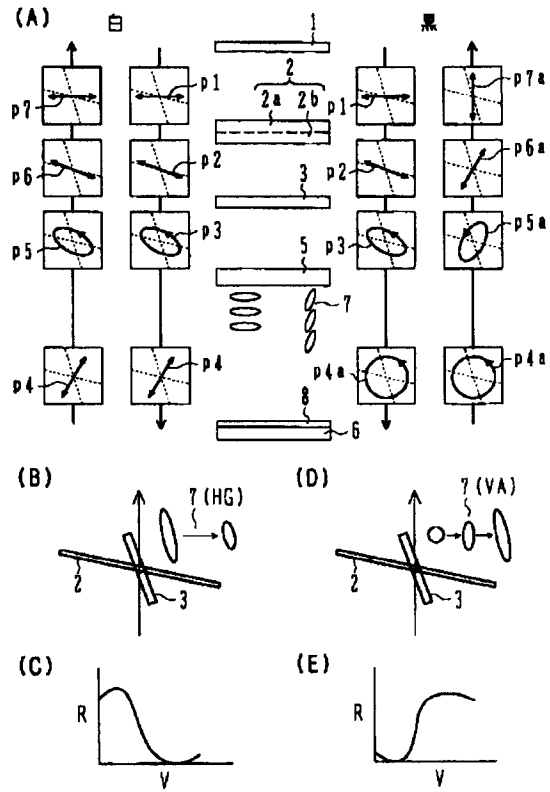
【図8】



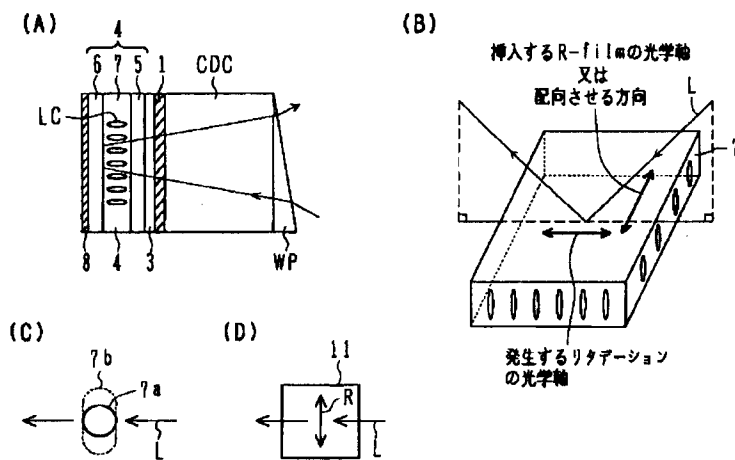
【図10】



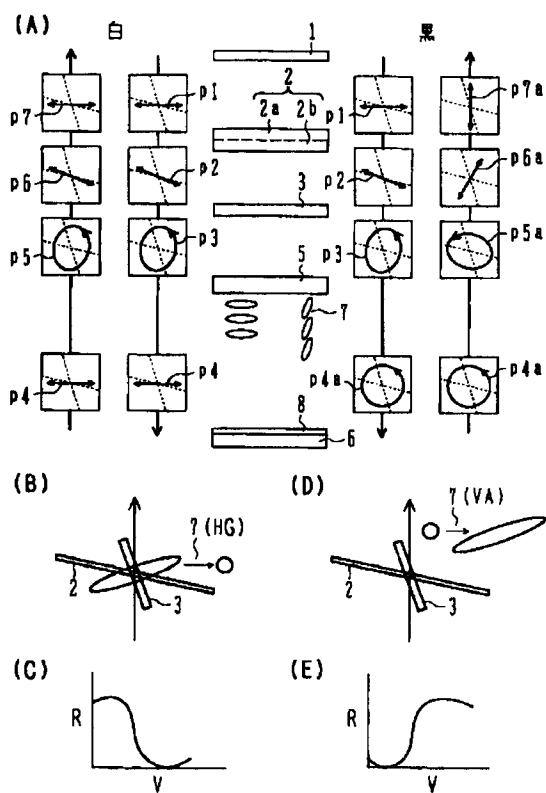
【図11】



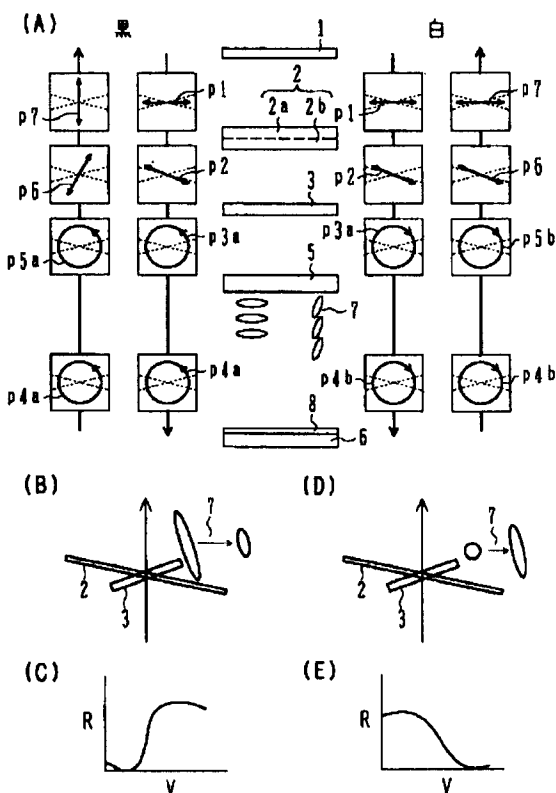
【図21】



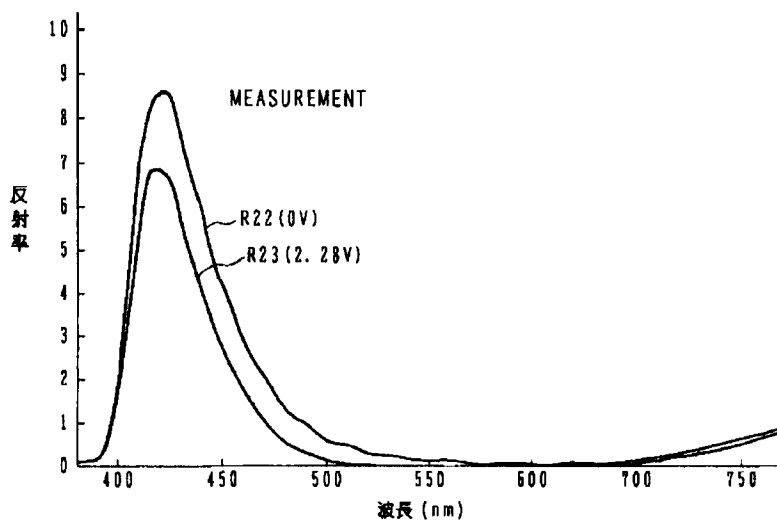
【図12】



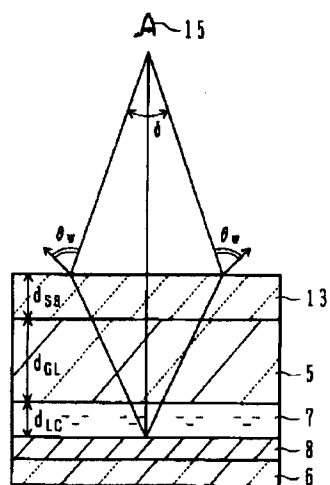
【図13】



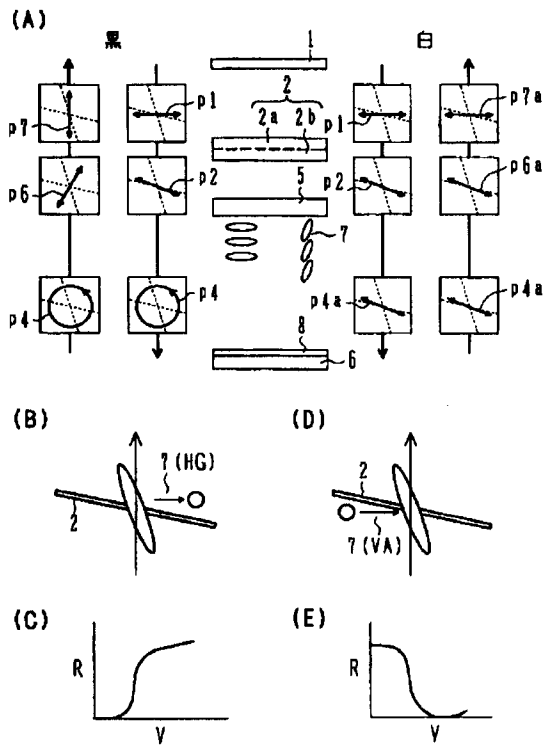
【図24】



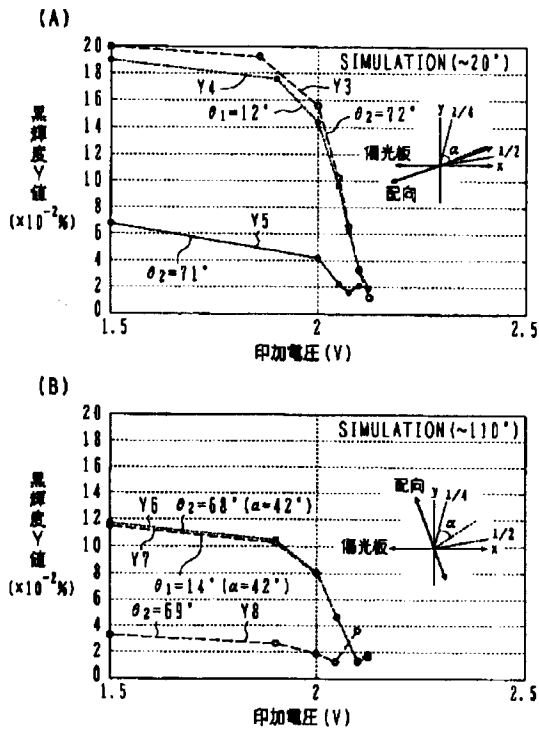
【図32】



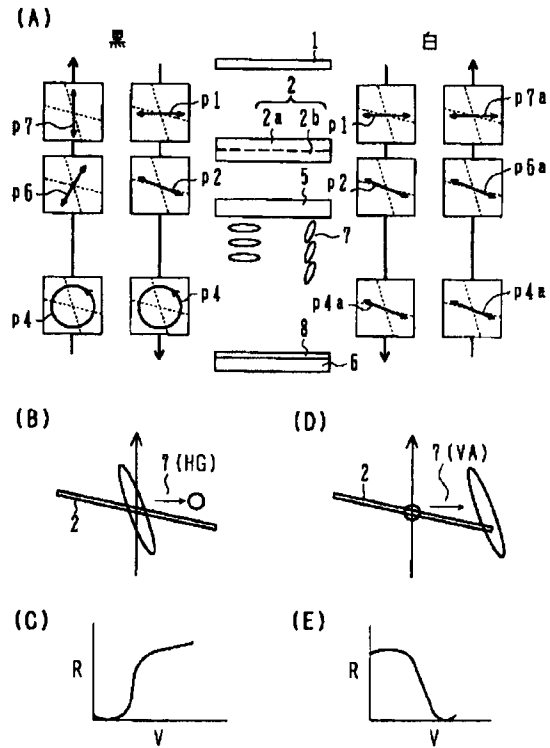
【図14】



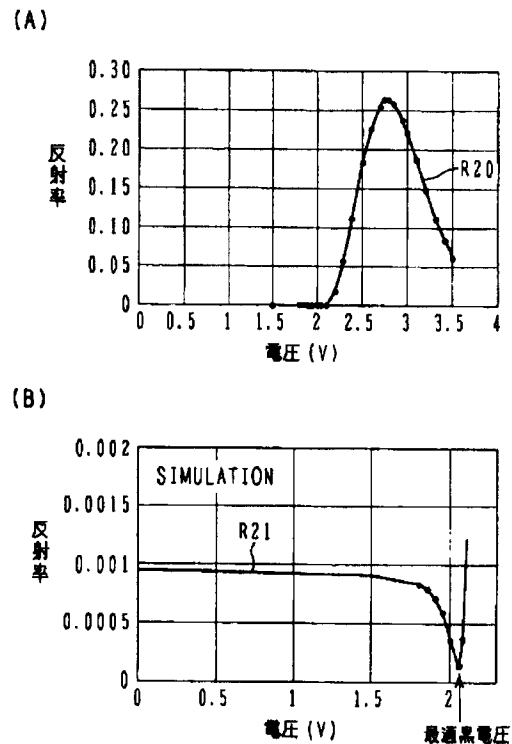
【図18】



【図15】

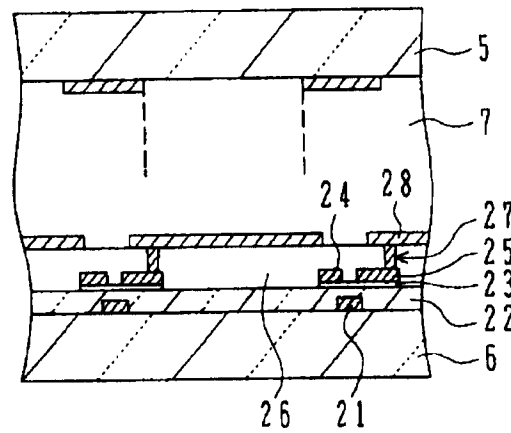


【図22】

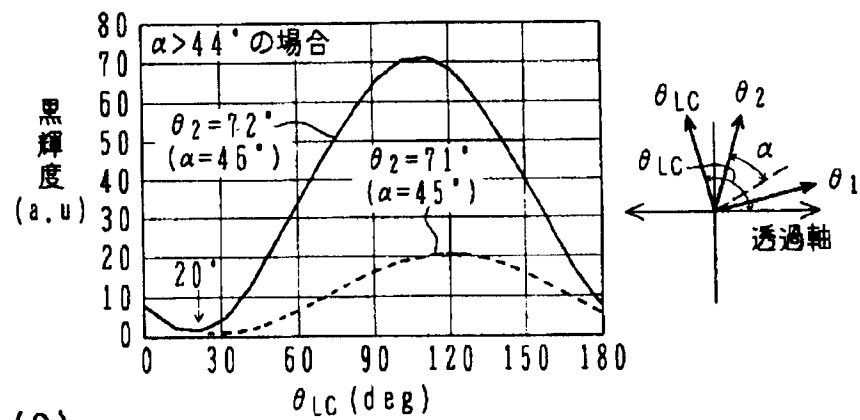


【図16】

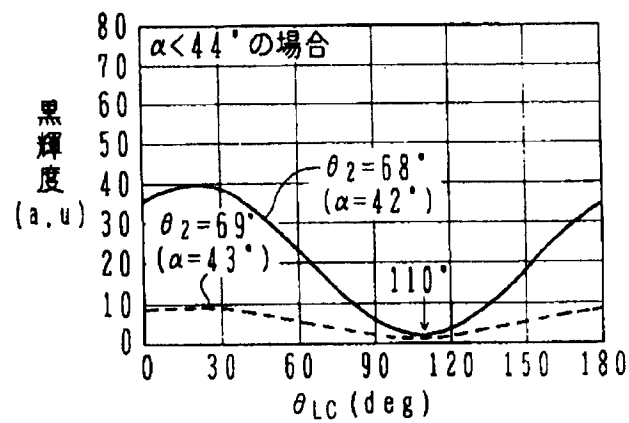
(A)



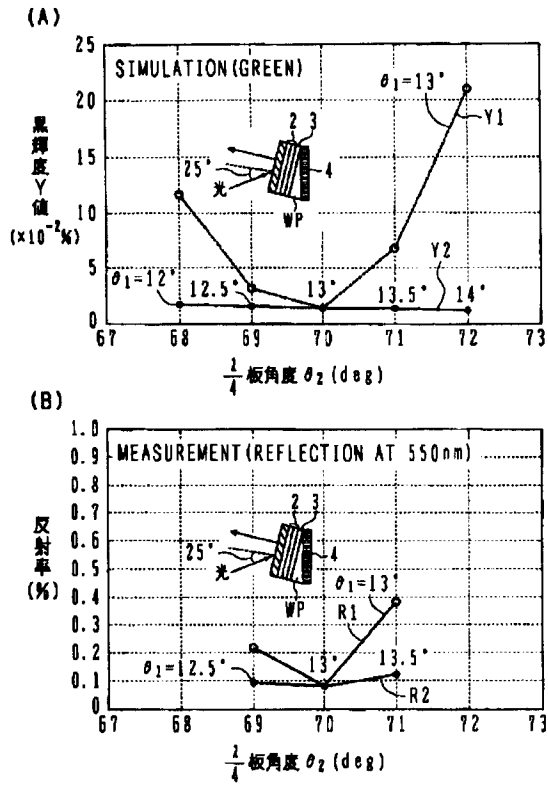
(B)



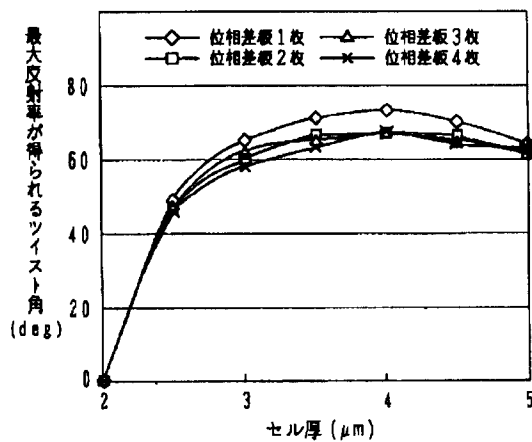
(C)



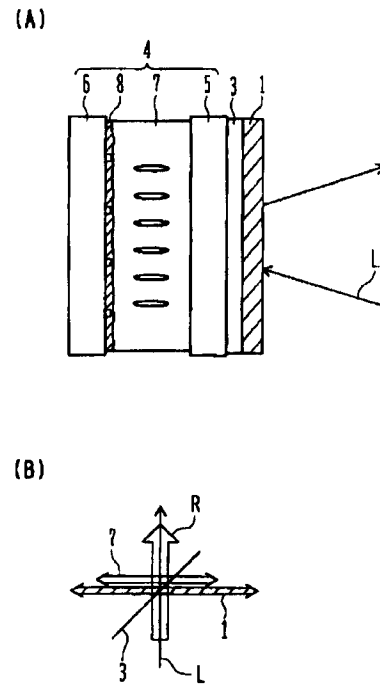
【図17】



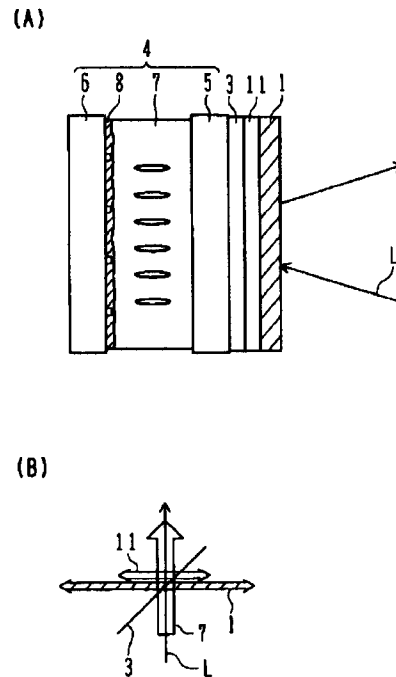
【図26】



【図23】

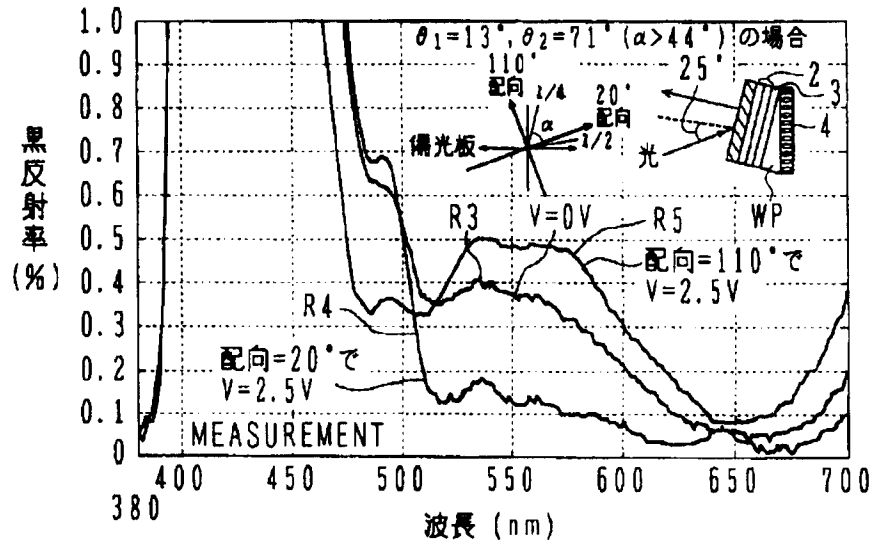


【図25】

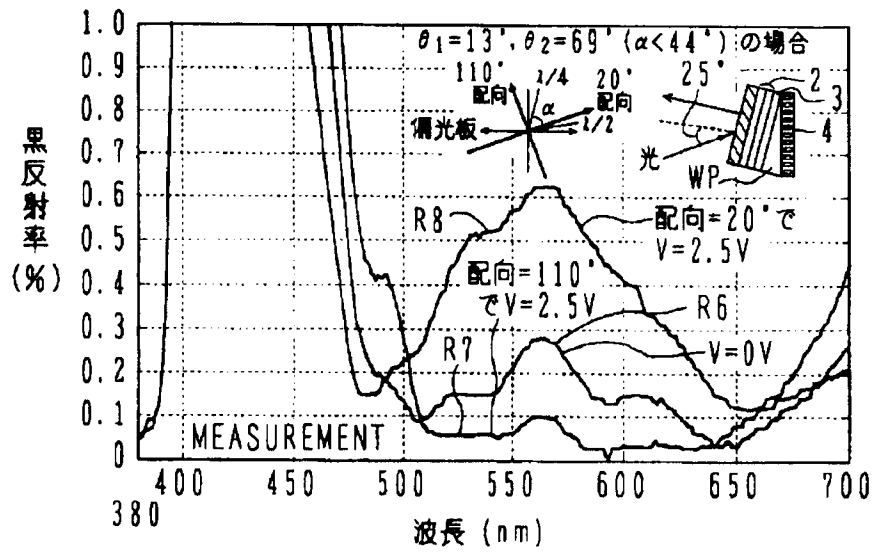


【図19】

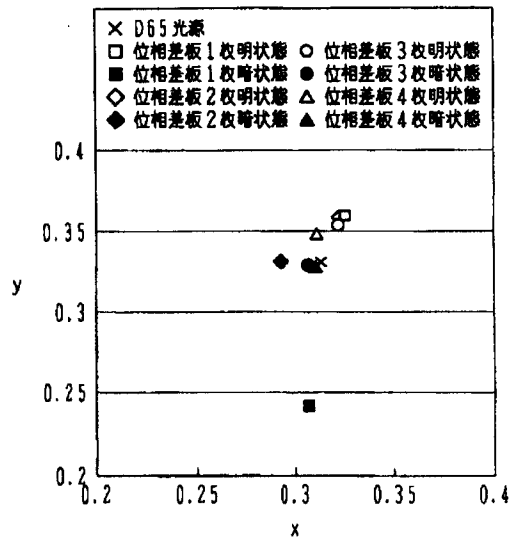
(A)



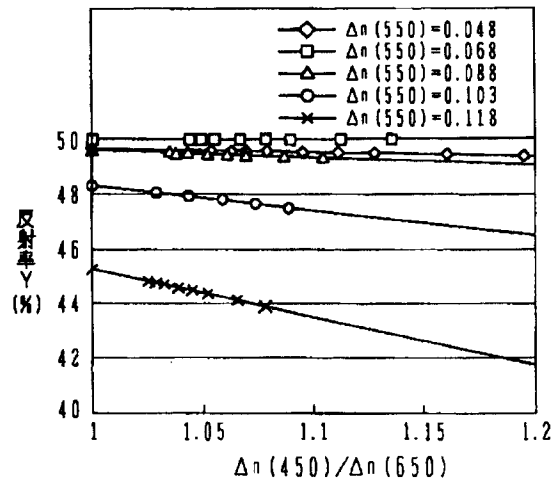
(B)



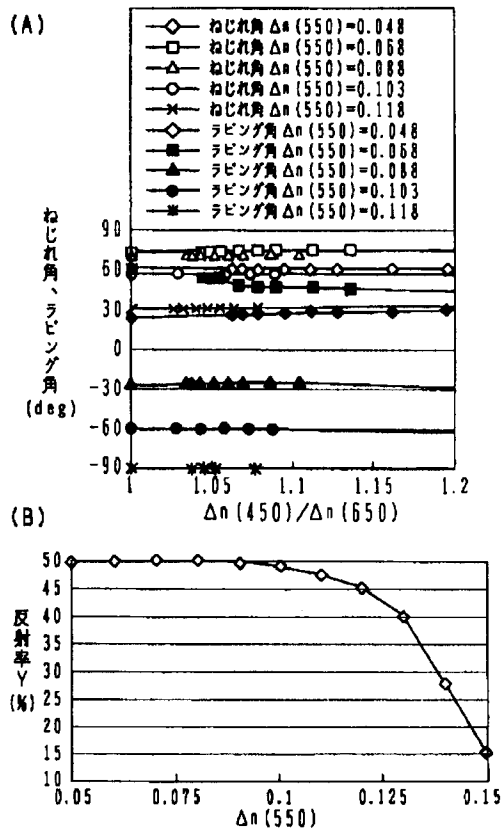
【図27】



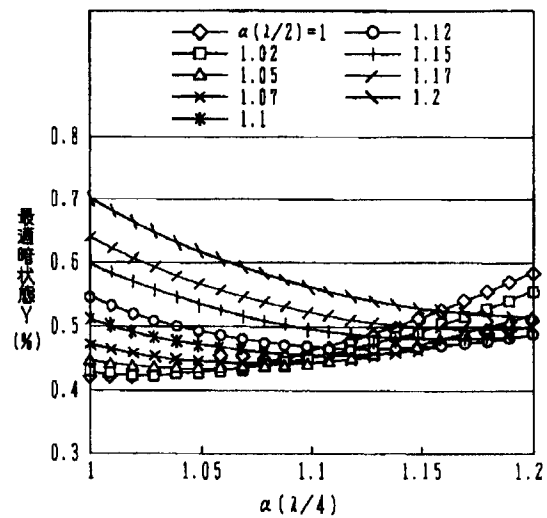
【図28】



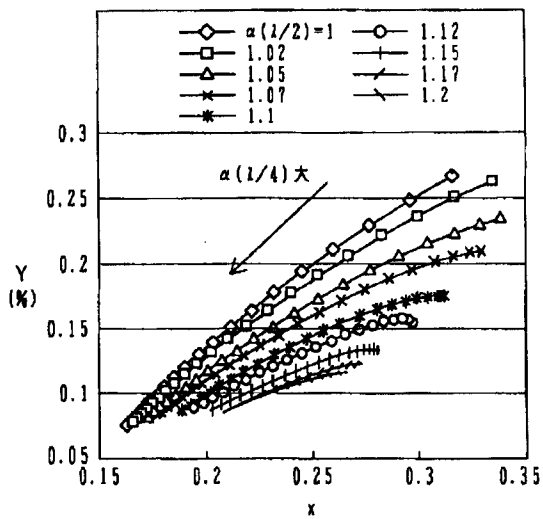
【図29】



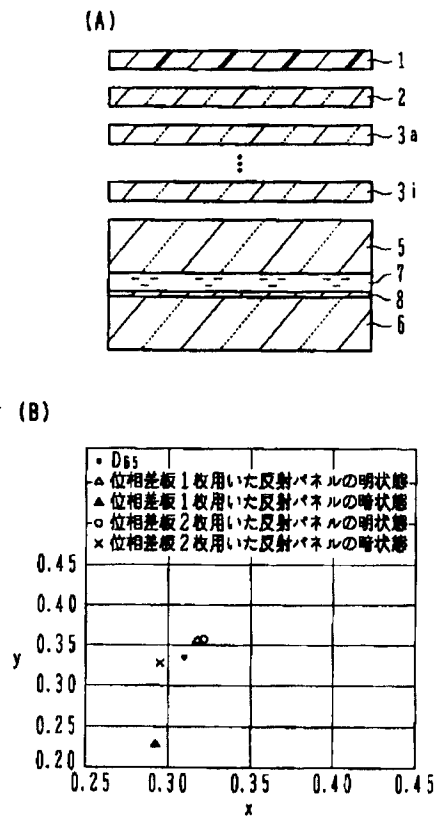
【図30】



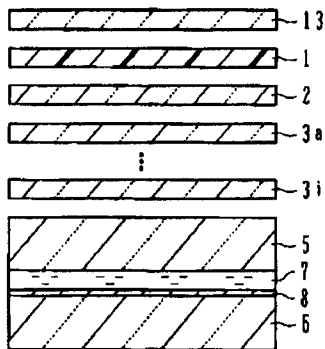
【図31】



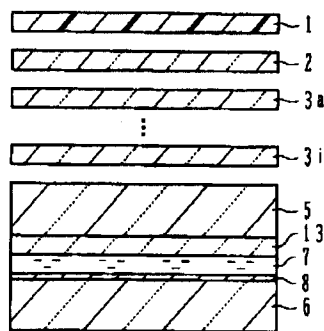
【図33】



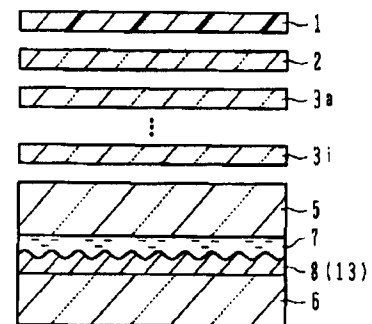
【図34】



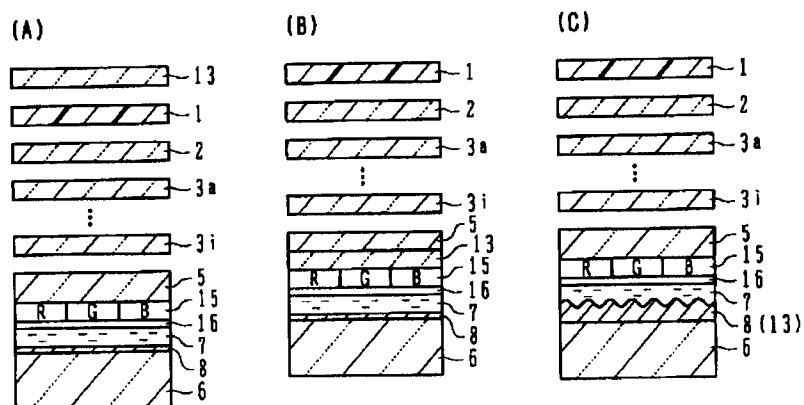
【図35】



【図36】



【図37】



フロントページの続き

(72)発明者 井上 雄一
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内
(72)発明者 間山 剛宗
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内
(72)発明者 有竹 敬和
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 杉浦 規生
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内
(72)発明者 大室 克文
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内
Fターム(参考) 2H091 FA08Z FA11X FA11Z FA14Y
FA14Z FB02 FD01 FD06
FD07 GA06 LA16 LA17